

Taloudellinen näkökulma Itämeren suojeluun

Kari Hyytiäinen ja Markku Ollikainen (toim.)



Taloudellinen näkökulma Itämeren suojeluun

Kari Hyytiäinen ja Markku Ollikainen (toim.)

Helsinki 2012

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

YMPÄRISTÖMINISTERIÖN RAPORTTEJA 22 | 2012
Ympäristöministeriö
Luontoympäristöosasto

Taitto: Marianne Laune
Kansikuva: Janne Artell

Julkaisu on saatavana myös internetistä:
www.ymparisto.fi/julkaisut

Edita Prima Oy, Helsinki 2012

ISBN 978-952-11-4094-5 (nid.)
ISBN 978-952-11-4096-9 (PDF)
ISSN 1796-1696 (pain.)
ISSN 1796-170X (verkkoj.)



SISÄLLYS

Esipuhe	4
Yhteenveto	5
 Osa I	
Itämeren suojelun taloudelliset hyödyt ja kustannukset.....	11
 Osa II	
Uusia analyyskejä ja välineitä Itämeren suojeluun	101
 Kuvailulehti	132
Presentationsblad.....	133
Documentation page	134

ESIPUHE

Itämereen kohdistuu monia ihmisen toiminnasta aiheutuvia paineita, jotka heikentävät meren tilaa ja lisäävät ympäristövahinkojen riskiä. Monet Itämeren altaat ovat huonossa tilassa. Itämeren rantavaltiot suojelevat Itämerta muun muassa EU:n lainsäädännön ja HELCOM:in Itämeren suojelun toimintaohjelman ohjaamina.

Suojelutoimien taloudellista kannattavuutta voidaan arvioida vertaamalla toimenpiteiden kustannuksia niistä saataviin hyötyihin. Kansallisen suojelupolitiikan tehokkuutta voidaan puolestaan arvioida tutkimalla kustannusten ohella sitä, millä perustein vähennysvelvoitteet on kohdistettu eri kuormittajien kesken ja miten vaikuttavia ohjauskeinoja kuormituksen vähentämiseksi käytetään.

Hankkeissa laadittiin taloudellisia analyysejä kolmelle Itämeren keskeiselle uhal- le: rehevöitymiselle, laivaliikenteen öljyvahingoille ja vieraslajeille. Tässä raportissa esitellään hankkeiden keskeisimmät tulokset sekä tutkijoiden suosituksia Suomen vesiensuojelun kehittämiseksi.

Valtioneuvoston sektoritutkimuksen neuvottelukunnan kestävä kehitys-jaosto käynnisti vuonna 2009 kaksi hanketta, joista *"Itämeren suojelun kustannusten, hyö- tyjen ja ohjauskeinojen arviointi"* – hanketta koordinoi Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT), ja siihen osallistuivat Suomen ympäristökeskus (SYKE) ja Helsingin yliopisto (HY). Toista hanketta *"Kustannustehokkaat ohjauskeinot Itämeren suojelussa"* koordinoi Helsingin yliopiston taloustieteen laitos ja siihen osallistui myös Valtion taloudellinen tutkimuslaitos. Hankkeiden rahoituksesta vastasivat maa- ja metsätalousministeriö ja ympäristöministeriö sekä liikenne- ja viestintäministeriö ja valtiovarainministeriö pienellä osuudella. Maa- ja metsätalousministeriö asetti hankkeille yhteisen laajapohjaisen ohjausryhmän, jossa olivat edustettuina professori Erik Bonsdorff, Åbo Akademi, ympäristöneuvos Antero Honkasalo, ympäristöminis- teriö, professori Raimo Hämmäläinen, Aalto-yliopisto, ylitarkastaja Saara Jääskeläinen, liikenne- ja viestintäministeriö/johtava asiantuntija Jorma Kämäräinen, Liikenteen turvallisuusvirasto (Trafi), Executive Director Kaisa Kononen, BONUS Baltic Organi- sations Network for Funding Sciences EEIG, professori Jorma Kuparinen, Helsingin yliopisto, Professional Secretary Maria Laamanen, HELCOM sihteeristö, professori Risto Laukkanen, Pöyry (maaliskuu 2012 asti), ympäristöasiantuntija Karl-Johan Lehtinen, NEFCO, neuvotteleva virkamies Elina Nikkola / tutkimusjohtaja Mikko Pel- tonen, maa- ja metsätalousministeriö, tutkimusprofessori Seppo Rekolainen, Suomen ympäristökeskus, neuvotteleva virkamies Laura Saijonmaa, ympäristöministeriö, erityisasiantuntija Markku Stenborg, valtiovarainministeriö, maatalousylitarkastaja Sini Wallenius, maa- ja metsätalousministeriö ja ympäristöneuvos, ohjausryhmän puheenjohtaja Eeva-Liisa Poutanen, ympäristöministeriö. Ohjausryhmän sihteerinä toimi Heini Ahtiainen, MTT.

Tämän julkaisun sisällöstä vastaavat tutkijat. Ympäristöministeriö ja maa- ja metsätalousministeriö kiittävät tiedeyhteisön edustajia mielenkiintoisista tutki- mustuloksista.

YHTEENVETO

Itämereen kohdistuu monia ihmisen toiminnasta aiheutuvia paineita, jotka heikentävät meren tilaa ja lisäävät ympäristövahinkojen riskiä. Monet Itämeren altaat ovat huonossa tilassa vuosikymmeniä jatkuneen voimakkaan ravinnekuormituksen takia. Itämeren rantavaltiot suojelevat Itämerta muun muassa EU:n lainsäädännön ja Itämeren suojelukomission (HELCOM) Itämeren suojelun toimintaohjelman (BSAP) ohjaamina. Suojelutoimien taloudellista kannattavuutta voidaan arvioida vertaamalla toimenpiteiden kustannuksia niistä saataviin hyötyihin. Kansallisen suojelupolitiikan tehokkuutta voidaan puolestaan arvioida tutkimalla kustannusten ohella sitä, millä perustein vähennysvelvoitteet on kohdistettu eri kuormittajien kesken ja miten vaikuttavia ohjauskeinoja kuormituksen vähentämiseksi käytetään.

Tässä yhteenvedossa tiivistetään johtopäätökset kahdesta vuosina 2009-2012 toteutetusta tutkimushankkeesta: *”Itämeren suojelun kustannusten, hyötyjen ja ohjauskeinojen arviointi”* ja *”Kustannustehokkaat ohjauskeinot Itämeren suojelussa”*. Hankkeissa tarkasteltiin kolmea keskeistä ympäristöongelmaa Itämerellä: rehevöitymistä, laivaliikenteen öljyvahinkoja ja vieraslajeja.

Rehevöitymisen torjunta

Kaikki Itämeren maat kattava tarkastelu

Kaikki Itämeren maat kattavassa tarkastelussa Itämeren rehevöitymistä ja sen valuma-alueita tarkasteltiin kokonaisuutena. Tulosten mukaan Itämeren suojelun toimintaohjelman toteuttaminen on taloudellisesti kannattavaa, sillä sen hyödyt ylittävät toimenpiteiden kustannukset. Kaikkien Itämeren rantavaltioiden kansalaiset kannattavat lisätoimia Itämeren rehevöitymisen vähentämiseksi. Itämeren rannikkovaltioiden asukkaiden kokemat hyödyt toimintaohjelman toteuttamisesta ovat noin 4 miljardia euroa vuodessa. Suomalaisten kokema hyöty rehevöitymisen vähentämisestä on 200 miljoonaa euroa vuodessa. Toimintaohjelman kokonaiskustannuksia voidaan merkittävästi laskea jakamalla kuormituksen vähentäminen kustannustehokkaasti eri toimialojen ja valtioiden kesken. Kustannustehokkuus tarkoittaa tavoitellun kuormitusvähennyksen toteuttamista pienin mahdollisin kustannuksin. Ihmisten kokemien hyötyjen arvo toimintaohjelmasta on tutkimuksen mukaan vähintään kaksinkertainen kustannuksiin nähden, jos toimintaohjelma toteutetaan kustannustehokkaasti. Rehevöitymisen torjunta on kannattavaa koko Itämeren tasolla tarkasteltuna, mutta hyödyt ja kustannukset jakautuvat epätasaisesti Itämeren rannikkovaltioiden kesken.

Itämeren toimintaohjelmassa vesiensuojelun taso on johdettu ekologisista tavoitteista. Vaihtoehtoinen näkökulma kuormitustavoitteiden suunnitteluun on ihmiskeskeinen, jossa yhteiskunnan panostus vesiensuojeluun valitaan kansalaisten parantavasta veden laadusta kokemien hyötyjen ja kuormitusvähennystoimien kustannusten perusteella. Ihmiskeskeisestä näkökulmasta laskettu taloudellisesti perustelluin Itä-

meren suojelun taso on hieman matalampi kuin toimintaohjelman suojelun taso, ja se keskittyy fosforikuormituksen vähentämiseen. Näkökulmat tuottavat kuitenkin samansuuntaisen suosituksen rehevöitymisen torjunnan tarpeesta Itämerellä.

Kustannustehokkaat toimenpiteet sisältävät maittain vaihtelevan yhdistelmän jätevedenpuhdistukseen, maatalouteen ja pesuaineiden käyttöön liittyviä toimia. Fosforikuormituksen vähentämisessä tärkein keino on jätevedenpuhdistuksen tehostaminen etenkin Puolassa, Venäjällä ja Baltian maissa. Typpikuormituksen vähentämisessä tärkein keino on typpilannoituksen vähentäminen peltoviljelyssä. Suomessa tehdyt kuormitusvähennykset parantavat sisä- ja rannikkovesiemme tilaa, mutta vaikutus koko Itämeren tilaan on pieni. Näin ollen suomalaisten etu on kaikki Itämeren rannikkovaltiot kattava ja kaikkia maita kannustava sopimus kuormitusvähennyksistä Itämerellä.

Kustannustehokkaat toimenpiteet Suomessa

Suomen mahdollisuuksia vähentää typpi- ja fosforikuormaa arvioitiin yksityiskohteisesti yhdyskuntajätevesien ja maatalouden suhteen. Tutkimuksessa selvitettiin fosforin ja typen puhdistuspotentiaalia, puhdistamisen kustannuksia ja julkisen vallan ohjauksen toimivuutta. Tämän ohella tutkittiin, millaiselta kustannustehokas ravinteiden rajoittamispolitiikka voisi näyttää. Kustannustehokkuus eri sektoreiden kesken toteutuu, kun kuormituksen vähennysvelvoitteet kohdistetaan yli sektoreiden kuormittajille niin, että niiden rajapuhdistuskustannukset ovat yhtä suuret. Tämän kriteerin valossa arvioitiin, kuinka osuvasti nykyiset, sektorikohtaisesti ja toisistaan riippumatta maatalouteen ja yhdyskuntajätevesiin asetetut vähennystavoitteet on asetettu.

Suomessa yhdyskuntajätevesien osuus fosforin kokonaiskuormituksesta on 4 prosenttia. Typen suhteen osuus on suurempi, noin 15 prosenttia. Puhdistamojen mahdollisuudet vähentää fosforikuormitusta ovat pienet, koska fosforin puhdistus on jo erittäin korkealla, noin 96 prosentin tasolla. Typen suhteen puhdistuspotentiaalia sen sijaan löytyy. Jos typen puhdistus nostettaisiin 70 prosenttiin kaikissa yli 2000 asukasvastineluvun laitoksissa, typpikuorma vähenisi noin 4000 tonnia. 90 prosentin puhdistustasolla vähenemä olisi noin 7500 tonnia. Typen puhdistuskustannukset ovat alhaisemmat kuin aiemmin on oletettu. Yli 10 000 asukasvastineluvun laitoksissa rajakustannukset ovat noin 5,5 euroa puhdistettua kiloa kohden, kun tyypestä puhdistetaan 70 prosenttia, ja ne nousevat noin 12 euroon, kun puhdistus on 90 prosenttia. Fosforin suhteen rajakustannukset ovat noin 17 euroa vähennettyä kiloa kohden.

Maatalous on suuri kuormittaja ja se aiheuttaa noin 65 prosenttia Suomen kokonaisfosforikuormasta ja 55 prosenttia typpikuormasta. Kummankin kuorman vähentämispotentiaali on suuri, joskaan maataloudella ei ole käytössä samankaltaisia tehokkaita teknologisia keinoja kuin puhdistamoilla. Typpihuuhtoumaa voidaan rajoittaa vähentämällä typpilannoitusta, keventämällä muokkausta ja perustamalla suojakaistoja. Kokonaishuuhtouman kannalta tärkeää on peltopinta-alan rajoittaminen. Maa-ainekseen sitoutuneen partikkelifosforin huuhtoumaa voidaan alen-
taa vähentämällä eroosiota, lisäämällä kasvipeitteisyyttä sekä perustamalla suojakaistoja. Tästä huuhtoumasta kuitenkin vain pieni osa, alle 20 prosenttia on leville käyttökelpoisessa muodossa. Liukoisen fosforin huuhtouma soveltuu välittömästi leväkasvuun, mutta sitä voidaan nykykeinoin vähentää vain pitkän ajan kuluessa vähentämällä fosforilannoitusta ja sitä kautta peltomaiden viljavuusfosforivarantoa.

Maatalouden typpikuormituksen vähentäminen 10 prosentilla nykytasolta on rajakustannuksiltaan edullista, noin 4,5 euroa kilolta. Kun puhdistustavoitetta kiristetään, rajakustannukset nousevat: 20 prosentin vähennystasolla ne ovat 9,4 euroa kilolta ja 30 prosentin tasolla noin 15 euroa kilolta. Fosforin suhteen maatalouden rajakustan-

nukset nousevat jyrkästi puhdistustavoitteen myötä: 10 prosentin vähennystasolla rajakustannus on 45 euroa kilolta, ja 20 prosentin tasolla se nousee jo 229 euroon kilolta. Syynä korkeisiin rajakustannuksiin on se, että fosforikuormitusta voidaan rajoittaa lyhyellä aikavälillä lähinnä vain torjumalla eroosiota.

Vertaamalla toisiinsa rajakustannuksia yhdyskuntajätevesipuhdistamoissa ja maataloudessa havaitaan, että näiden sektorien rajapuhdistuskustannukset ovat yhtä suuret, kun maatalous vähentää typpikuormaa vesiensuojeluohjelman mukaisesti 30 prosenttia ja suuret (yli 10 000 asukkaan) jätevesipuhdistamot 90 prosenttia. Tässä katsannossa Suomen tulisi noudattaa EU:n yhdyskuntajätevesidirektiiviä tiukempaa typpipolitiikkaa fosforin puhdistuksen tapaan. Yhdyskuntafosforin poistotavoitteisiin ei ole tarpeen tehdä muutoksia. Sen sijaan maatalouden fosforipolitiikkaa tulee tiukentaa, koska 10–20 prosentin vähennys kuormitukseen on saavutettavissa ympäristötukeen suhteutettuna kohtuullisin kokonaiskustannuksin. Ilmeiseltä kuitenkin näyttää, että vesiensuojeluohjelman mukainen 30 prosentin vähennys fosforiin on mahdoton toteuttaa ilman rakenteellisia muutoksia koko toimialassa.

Öljytuhojen ennakotorjunta ja jälkihoito

Yksi Itämeren liikennöidyimmistä alueista on Suomenlahti, missä erityisesti öljykuljetukset ovat lisääntyneet viime vuosina huomattavasti. Tämä on samalla lisännyt öljyonnettomuuden riskiä. Jotta öljytuhoilta välttyttäisiin, tarvitaan sekä onnettomuusriskiä vähentäviä toimia että riittävän tehokasta öljyntorjuntakalustoa. Todennäköisyyslaskentaan perustuvan kustannus-hyötymallin avulla tarkasteltiin lisäinvestointien kannattavuutta Suomenlahden öljytuhojen ennaktorjunnassa ja jälkihoidossa. Ennaktorjuntaa edusti automaattisen VTS-hälytysjärjestelmän käyttöönotto ja jälkihoitoa uusi, öljyntorjuntaan tarkoitettu Louhi-monitoimialus. Hyödyt perustuivat suomalaisten maksuhalukkuuteen öljyvahinkojen torjunnan tehostamisesta, joka arvioitiin myös todennäköisyyspohjaisesti. Vuonna 2006 kerätyn aineiston perusteella suomalaisten maksuhalukkuus silloisen öljyntorjuntakapasiteetin parantamiseksi oli kertamaksuna 112 miljoonaa euroa.

Vertailu öljytuhojen ennaltaehkäisyn (VTS-hälytysjärjestelmä) ja jälkihoidon (öljyntorjunta) välillä kallistui ennaltaehkäisyn eduksi. Tämä johtuu ennen kaikkea siitä, että suuren öljyvuodon vuotuinen todennäköisyys on varsin pieni. Lisäksi jo olemassa oleva laivasto toimii tehokkaasti keskimääräisissä olosuhteissa. Louhi-alus on jo hankittu ja käytössä, ja on huomattava, että sitä käytetään myös muihin tarkoituksiin, joita ei ole otettu tässä tutkimuksessa huomioon. Tulokset kannustavat etsimään ja kehittämään jatkossa uusia keinoja erityisesti tankkerionnettomuuksien ennaltaehkäisyyn.

Vieraslajit

Voimakkaasti kasvava laivaliikenne, uudet satamat ja merivettä jäähdytykseen käyttävät teollisuuslaitokset ovat lisänneet mahdollisuuksia uusien haitallisten lajien leviämiseksi Itämerellä. Hankkeessa haettiin taloudellisesti tehokkaita toimenpiteyhdistelmiä vieraslajien torjumiseksi ennen leviämistä ja sen jälkeen. Tarkasteltavaksi lajiksi valittiin Aasian simpukka ja kohdealueeksi suunnitellun ydinvoimalan lauhdevesialue Perämerellä.

Tulosten mukaan paras mahdollinen toimintasuunnitelma riippuu monista toimenpiteiden kustannuksiin ja vaikutuksiin liittyvistä oletuksista. Erilaisilla oletuksilla tehdyistä laskelmista eriytyi kolme vaihtoehtoista toimintamallia: (1) invaasion haittoihin sopeutuminen, (2) invaasioriskin pienentäminen ja (3) vieraslajipopulaa-

tion koon rajoittaminen. Sopeutuminen oli laskelmien mukaan paras toimintamalli yksittäiselle, rajatulle alueelle leviävälle vieraslajille. Vieraslajien ennakkotorjunta laivojen painolastivesiä puhdistamalla kuitenkin lienee tehokkaampi toimenpide, jos se toteutetaan alueellisesti tai maailmanlaajuisesti kuten Kansainvälinen merenkulkujärjestö ehdottaa, ja sen avulla vähennetään kaikkien painolastivesien avulla leviävien lajien kulkeutumista. Kasvava vieraslajien riski voi vähentää suurten rannikoille sijoitettavien hiili- ja ydinvoimaloiden kannattavuutta muihin energiamuotoihin verrattuna. Nykyistä kattavammat vieraslajien riskikartoitukset ja niihin liittyvät taloudelliset tarkastelut ovat tarpeen energiasektorin kannattavuustarkasteluissa, ympäristövaikutusten arvioinnissa ja rakennuslupamenettelyssä sekä maankäytön ja merien aluesuunnittelussa.

Vesipolitiikka ja ohjaus

Kaikki Itämeren maat kattava tarkastelu

HELCOMin Itämeren suojelun toimintaohjelma on keskeisin kansainvälisen vesipolitiikan instrumentti Itämerellä. Sen lähestymiskulma on ekologinen ja siinä valuma-aluekohtaiset ravinnekuormituskiintiöt on suunniteltu palvelemaan meren tilan parantamista huonoimmassa kunnossa olevissa altaissa. Tämä tutkimus tuo Itämeren suojeluun yhteiskunnallisen ja taloudellisen näkökulman, jossa suojelutoimet suunnitellaan mahdollisimman edullisesti ja suojelun taso määritetään suojelun hyötyjen ja kustannusten perusteella. Taloudellinen näkökulma Itämeren suojeluun täydentää ekologista näkökulmaa ja tarjoaa mahdollisuuden suojeluun suunnattujen resurssien tehokkaampaan hyödyntämiseen. Taloudellinen näkökulma palvelee myös meristrategiadirektiivin toteutukseen liittyvien toimenpideohjelmien suunnittelua, jotka nojautuvat paitsi nykyisiin sopimuksiin myös taloudellisiin kustannustehokkuus- ja kustannus-hyötyanalyysihin.

Kustannus-hyötyanalyysin tulosten mukaan Itämeren toimintaohjelma on taloudellisesti perusteltu koko Itämeren tasolla tarkasteltuna. Toimintaohjelman toteuttaminen on kannattavaa, sillä Itämeren rehevöitymisen vähentämisestä koituvat hyödyt ylittävät suojelun kustannukset. Itämeren toimintaohjelmassa määritetystä suojelun tasosta ei ole taloudellisia perusteita tinkiä, mutta sitä ei voida juurikaan kiristää ilman merkittävästi kohoavia kustannuksia. Sen sijaan toimintaohjelman maa- ja allaskohtaiset kiintiöt ravinnekuormitukselle eivät ole laskelmiemme mukaan kustannustehokkaita. Kansainvälisellä yhteistyöllä ja toimialojen ja maarajojen yli suunnitelluilla toimenpideyhdistelmillä voitaisiin saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä ilman, että yhdenkään yksittäisen maan kustannustaakka kasvaa merkittävästi.

Itämeren suojelun kustannusten ja hyötyjen epätasainen jakaantuminen Itämeren rannikkovaltioiden välillä on merkittävä haaste tulevaisuuden kansainväliselle vesipolitiikalle. Kustannustehokkaat toimenpiteet yhdistettynä kansainvälisiin rahoitusjärjestelyihin ja taakanjakomekanismeihin ovat tie kansainväliseen yhteistyöhön, jonka tavoitteet kaikki rantavaltiot kokevat kannattaviksi.

Laivaliikenteen öljyvahingot ja uudet vieraslaji-invaasiot ovat luonteeltaan samantyyppisiä uhkia: molempiin liittyy pieni tapahtumistodennäköisyys, mutta haitat ja ympäristövahingot niistä voivat olla mittavia. Näiden riskien tarkastelussa ennakkotorjunnan merkitys ja edut korostuivat. Sekä öljytuhojen että vieraslajien ennakkotorjunta edellyttää kuitenkin kansainvälistä yhteistyötä ja ympäristöpolitiikkaa, sillä yksittäisen maan toimenpiteet eivät välttämättä ole riittäviä. Varoitusjärjestelmien rakentaminen laivaliikenteen osalta ja vieraslaji-invaasion riskien vähentämien edellyttävät vähintään alueellista, koko Itämeren tasolla tapahtuvaa yhteistyötä.

Suosituksia Suomen vesiensuojelun kehittämiseksi

Kustannustehokkuustarkastelusta voidaan tehdä kaksi suositusta Suomen vesien-suojelun kehittämiseksi. Maatalouden ympäristöohjelman puutteet tulee korjata ja ympäristöohjelmaa tulee terävöittää useissa suhteissa. Yhdyskuntajätevesien typen-poisto suurissa laitoksissa tulee kasvattaa korkeammaksi kuin EU:n yhdyskuntajä-tevesidirektiivi edellyttää.

Typen puhdistuksen edullisuus puhdistamoissa mahdollistaa ja perustelee fosforin tapaan EU:n yhdyskuntajätevesidirektiiviä tiukemman typpipolitiikan. Puhdistamoi-den typpipäästöjen ohjaus voisi perustua nykyiseen lupaperusteiseen ohjaukseen tai ravinneveron käyttöön ottamiseen. Verotusta voidaan käyttää myös lisäkeino-na lupajärjestelmän rinnalla, kohdistettuna jätevesien ohjauksutuksiin. Vero lisäisi kannustimia viemäri- ja laiteinvestointeihin ja signaloisi samalla hyvin kansalaisten ohjauksutuksiin kohdistamaa lisääntyvää kritiikkiä. Typenpoiston rahoitus pohja on periaatteessa laaja eikä siihen tarvita budjettirahaa.

Maatalouden ympäristöohjelma ei ole onnistunut vähentämään ravinnekuormaa sille asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Koko maan tasolla maatalouden typpikuor-ma on kasvanut ja fosforikuorma supistunut vain hieman. Saaristomeren valuma-alu-eella paitsi typpi- myös fosforikuorma on kasvanut. Pääsyyt typpikuorman kasvuun ovat viljelysmaan määrän kasvu, viljelypinta-alojen painottuminen paljon typpeä vaativiin kasveihin sekä typpilannoituksen sallittujen maksimirajojen nostaminen. Peltomaan määrää on kasvattanut EU:n pinta-alaperusteinen tukijärjestelmä sekä lähinnä karjatilojen lannanlevitysrajoitusten vuoksi raivattu lisäpeltomaa.

Valtakunnallista ohjausta tulee tehostaa ja siihen tulee lisätä alueellisia ainek-sia, jotta kuormitus saadaan selvään laskuun. Ravinnekuormitushaittaan perustuva typpivero lannoitteille on nykyisiä typpirajoitteita tehokkaampi ja oikeudenmukai-sempi ohjauskeino, joka samalla edistää lannan tasaisempaa levitystä karjatiloiilla. Leveämmät suojakaistat ja pitkäaikaisen viherkesannointipinta-alan kasvattaminen ovat edullisimpia keinoja, jotka palvelevat samalla myös Suomen ilmastopoliittisia tavoitteita. Niiden perustamista (pinta-alaa, muotoa ja sijoittelua) tulisi joustavoittaa ja niihin kohdistettua osuutta ympäristötuesta kasvattaa. Pellonraivauskieltoa tai pellonraivauksen verottamista tulee harkita typen kokonaishuuhtouman kasvun pysäyttämiseksi.

Maatalouden fosforipolitiikkaa täytyy hioa nykyistä tarkemmaksi ja toimivam-maksi. Karjatalouteen kohdistettava ohjaus tulee perustaa karjataloudelle ominaisten piirteiden varaan. Maan viljavuusfosforin systemaattisiin otoksiin perustuva viran-omaisseuranta on tarpeen tukemaan fosforipolitiikkaa ja helpottamaan erityisesti karjatilojen ominaispiirteiden huomioonottamista. Alueelliset erityistarpeet, kuten ravinnehuuhtouman vähentäminen Saaristomeren valuma-alueella, voidaan ottaa huomioon ympäristöindeksiin perustuvilla tarjouskilpailuilla, joista Suomessa on toisaalla tuotettu kenttätason tietoa. Karjatalouden ohjaaminen sen omilla ehdoilla tulee ottaa intensiivisen tutkimuksen kohteeksi.

Kiitokset

Hankkeet kiittävät maa- ja metsätalousministeriötä, ympäristöministeriötä, liikenne- ja viestintäministeriötä ja valtiovarainministeriötä tutkimusrahoituksesta.

Itämeren suojelun taloudelliset hyödyt ja kustannukset

Kari Hyytiäinen¹⁾, Lassi Ahlvik²⁾, Heini Ahtiainen³⁾, Janne Artell⁴⁾, Kim Dahlbo⁵⁾, Petri Ekholm⁶⁾, Vivi Fleming-Lehtinen⁷⁾, Anna-Stiina Heiskanen⁸⁾, Inari Helle⁹⁾, Arto Inkala¹⁰⁾, Teppo Juntunen¹¹⁾, Sakari Kuikka¹²⁾, Soile Kulmala¹³⁾, Tuija Lankia¹⁴⁾, Maiju Lehtiniemi¹⁵⁾, Jouni Lehtoranta¹⁶⁾, Risto Lignell¹⁷⁾, Emilia Luoma¹⁸⁾, Marie Maar¹⁹⁾, Heikki Pitkänen²⁰⁾ ja Laura Tuomi²¹⁾

- ¹⁾ Kari Hyytiäinen, professori, MTT, taloustutkimus
- ²⁾ Lassi Ahlvik, tutkija, MTT, taloustutkimus
- ³⁾ Heini Ahtiainen, tutkija, MTT, taloustutkimus
- ⁴⁾ Janne Artell, tutkija, MTT, taloustutkimus
- ⁵⁾ Kim Dahlbo, tutkija, SYKE, merikeskus
- ⁶⁾ Petri Ekholm, erikoistutkija, SYKE, vesikeskus
- ⁷⁾ Vivi Fleming-Lehtinen, vanhempi tutkija, SYKE, merikeskus
- ⁸⁾ Anna-Stiina Heiskanen, professori, yksikönpäällikkö, SYKE, merikeskus
- ⁹⁾ Inari Helle, tutkija, Helsingin yliopisto, ympäristötieteiden laitos
- ¹⁰⁾ Arto Inkala, erikoistutkija, YVA Oy
- ¹¹⁾ Teppo Juntunen, tutkija, Helsingin yliopisto, ympäristötieteiden laitos
- ¹²⁾ Sakari Kuikka, professori, Helsingin yliopisto, ympäristötieteiden laitos
- ¹³⁾ Soile Kulmala, erikoistutkija, SYKE, merikeskus
- ¹⁴⁾ Tuija Lankia, tutkija, MTT, taloustutkimus
- ¹⁵⁾ Maiju Lehtiniemi, erikoistutkija, SYKE, merikeskus
- ¹⁶⁾ Jouni Lehtoranta, erikoistutkija, SYKE, merikeskus
- ¹⁷⁾ Risto Lignell, erikoistutkija, SYKE, merikeskus
- ¹⁸⁾ Emilia Luoma, tutkija, Helsingin yliopisto, ympäristötieteiden laitos
- ¹⁹⁾ Marie Maar, senior researcher, Aarhus University, Department of Bioscience
- ²⁰⁾ Heikki Pitkänen, yksikönpäällikkö, SYKE, merikeskus
- ²¹⁾ Laura Tuomi, tutkija, Ilmatieteen laitos, merentutkimus

MTT = Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus

SYKE = Suomen ympäristökeskus

SISÄLLYS

I Johdanto	14
2 Rehevöitymisen torjunnan kustannukset ja hyödyt	19
2.1 Hyödyt Itämeren tilan parantamisesta	20
2.2 Kuormitusvähennysten kustannukset	23
2.3 Hyödyt ja kustannukset Itämeren toimintaohjelman toteuttamisesta	27
2.4 Yli maarajojen optimoitu vesiensuojelun taso	30
2.5 Varaukset	32
2.6 Ohjauskeinot	34
3 Laivaliikenteen onnettomuuksien ennaltaehkäisy ja öljyntorjunta Suomenlahdella	35
3.1 Maksuhalukkuus öljyntorjuntavalmiuden parantamiseksi Suomen merialueella	35
3.2 Öljyonnettomuuksiin varautumisen kustannus-hyötymalli Suomenlahdella	37
3.3 Öljyntorjunta-analyysiin liittyvät varaukset	41
4 Vieraslajien ennakkotorjunnan ja jälkihoidon suunnittelu	42
5 Itämeren virkistyskäyttö	46
6 Johtopäätökset	51
6.1 Johtopäätöksiä ja suosituksia	51
6.2 Miten laskelmatulosten epävarmuuksiin tulisi suhtautua?	54
6.3 Sovellukset	55
6.4 Tutkimustarpeet	56
Kiitokset	57

Kirjallisuus	58
Liitteet	63
Liite 1. Mallit rehevöitymisen kustannus-hyötyanalyysissä	63
Liite 2. Rehevöityminen ja Itämeren ravinnekuormitus	64
Liite 3. Itämeren kuormitussskenaariot	66
Liite 4. Allastason malli Itämeren ravinnepitoisuuksien ennustamiseksi	72
Liite 5. 3D-merimallit meren tilan kuvauksessa	75
Liite 6. Indikaattorit ja asiantuntija-arviot	79
Liite 7. Luokitus ja tulokartat sekä rehevöityneisyystasojen kuvaus	82
Liite 8. Rehevöitymisen torjunnan hyödyt	86
Liite 9. Kustannustehokkaat toimintasuunnitelmat rehevöitymisen vähentämiseksi	88
Liite 10. Epävarmuus ja todennäköisyyslaskentaan perustuvat menetelmät öljyonnettomuuksien torjunnan suunnittelussa	91
Liite 11. Käsitelmä vieraslajin ennakotorjuntaan ja jälkihoitoon	94
Liite 12. Nykyinen Itämeren ravinnekuormitus ja suojeleuhjelmien mukaiset tavoitteet	95
Liite 13. Hyödyt ja kustannukset HELCOMin Itämeren toimintaohjelmaa matalammasta vesiensuojelun tasosta (osittainen BSAP)	97
Liite 14. Kustannustehokkaat ja optimoidut toimenpidesuunnitelmat	98

1 Johdanto

Itämeren huono tila on kansainvälinen ympäristöongelma. Ihmiset käyttävät Itämerta virkistäytymiseen, kulkuväylänä, ravinnonhankintaan mutta myös valuma-alueilla syntyneiden jätteiden (esim. ravinnekuormitus ja ympäristömyrkyt) purkupaikkana. Itämeren kasvaneen käytön seurauksena meriekosysteemin tila on monin tavoin heikentynyt. Meri ei enää kykene tuottamaan samanlaista rikasta kirjoa ekosysteemipalveluita tuleville sukupolville kuin mitä se on tuottanut nykyiselle ja aiemmille sukupolville. Monet ympäristöongelmat Itämerellä ovat seurausta luonnonvarojen yhteisomistukseen liittyvistä ongelmista¹ (Hardin 1968) ja ulkoisvaikutuksista². Yksittäisillä kansalaisilla, yrityksillä tai edes valtioilla ei ole riittäviä kannustimia vastuulliseen, säästeliääseen ja ekosysteemin toimintakykyä ylläpitävään käyttöön, koska oma toiminta pilaa vain pieneltä osin Itämerta. Pilaamisen kustannukset tulevat muiden toimijoiden tai tulevien sukupolvien maksettaviksi. Yhdessä kaikkien Itämeren kansalaisten ja yritysten toiminta kuitenkin johtaa Itämeren tilan heikkenemiseen.

Itämereen kohdistuu monenlaisia ihmisen toiminnasta aiheutuvia paineita, jotka heikentävät Itämeren tilaa ja lisäävät uusien ympäristövahinkojen todennäköisyyttä. Monet tekijät vaikuttavat ekosysteemiin yhtä aikaa. Vedenvaihdoltaan rajoitettu ja matala Itämeri on suurelta osin luokiteltu rehevöityneeksi (HELCOM 2010a). Siihen on jo vuosikymmenien ajan kohdistunut lisääntyntä ravinnekuormitusta tiheään asutetulta valuma-alueelta. Laivaliikenne merialueella on vilkasta, ja sen on ennustettu lisääntyvän entisestään tulevina vuosina. Toistaiseksi vakavilta öljyonnettomuuksilta on välttytty, mutta niiden todennäköisyys on suuri. Itämeren historia haitallisten aineiden kuormituksen kohteena on pisimpiä maailmassa (HELCOM 2010b). Osittain edellä mainitun ihmistoiminnan vuoksi Itämeren lajiston ja luontotyyppien koostumus on muuttunut ja monet lajit sekä elinympäristöt ovat uhanalaisia. HELCOMin (2010a) mukaan Itämeren suurimmat ympäristöuhat ovatkin rehevöityminen, meriliikenteen kasvun tuomat riskit, haitallisten aineiden lisääntyminen ja luonnon monimuotoisuuden väheneminen. Itämeren ekosysteemin säilymisen ja kestävän käytön mahdollistamiseksi ympärysvaltiot ovat vuonna 2007 sopineet toimista uhkien vähentämiseksi Itämeren suojelun toimintaohjelmassa (HELCOM 2007). Myös Euroopan Unionin lainsäädäntöön on kirjattu useita Itämeren kuormitukseen, riskeihin ja tilaan liittyviä direktiivejä (ks. tietolaatikko 1).

Tämä raportti on yhteenveto vuosina 2009-2012 toteutetun *"Itämeren suojelun kustannusten, hyötyjen ja ohjauskeinojen arviointi"* -hankkeen keskeisimmistä tuloksista. Hankkeen käynnistämisen taustalla oli vuonna 2006 julkaistu Sternin ilmas-

¹ Vaikka Itämeren omistusoikeudet ovatkin valtiollisella tasolla hyvin määritettyjä aluevesien ja talousalueiden osalta, ei Itämeren rannikkovaltioilla ole suoria mahdollisuuksia tai mekanismeja vaikuttaa naapurimaiden Itämerta kuormittavaan tai kuluttavaan käyttöön.

² Negatiivinen ulkoisvaikutus on taloudellisen toiminnan ulkopuolisille aiheuttama haitta.

toraportti (Stern 2006), joka oli ensimmäinen kattava analyysi ilmastomuutoksen taloudellisista ja yhteiskunnallisista vaikutuksista. Raportin keskeinen viesti oli, että ilmastomuutoksen toteutumisen kustannukset ylittävät sen torjunnasta aiheutuvat kustannukset, ja että toimiin ilmastonmuutoksen hiilidioksidikuormituksen vähentämiseksi tulisi ryhtyä välittömästi. Samoihin aikoihin Itämeren maissa käynnistyi keskustelu siitä, olisiko samanlainen, valtiorajat ylittävä taloudellinen analyysi Itämeren tilasta, uhista ja suojelusta mahdollinen. Pohjoismaiden ympäristöministerit päätyivät syyskuussa 2008 yhteisessä tiedonannossaan ehdottamaan Sternin ilmastoraportin mukaista analyysiä Itämeren suojelun hyödyistä ja kustannuksista.³ Työ jäsenyi kansainvälisen tutkimushankeryppään tehtäväksi. Työtä on koordinoanut Tukholman yliopiston Resilience Centre. Suomen osuus työstä on ollut keskeinen, ja se on toteutettu *"Itämeren suojelun kustannusten, hyötyjen ja ohjauskeinojen arviointi"* -hankkeessa (PROBAPS) maa- ja metsätalousministeriön ja ympäristöministeriön sekä pienellä liikenne- ja viestintäministeriön ja valtiovarainministeriön myöntämällä rahoituksella. Hanketta koordinoi Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT), ja siihen osallistuivat Suomen ympäristökeskus (SYKE) ja Helsingin yliopisto (HY).

Hankkeen keskeinen työkalu on kustannus-hyötyanalyysi. Kustannus-hyötyanalyysiä käytetään yhteiskunnallisen päätöksenteon apuvälineenä arvioitaessa suurten ja pitkäkestoisten julkisten hankkeiden toteutettavuutta ja hyväksyttävyyttä (esim. Boardman ym. 2006). Kustannus-hyötyanalyysissä pyritään arvioimaan mahdollisimman kattavasti tarkasteltavan hankkeen eri toimijoille aiheuttamia vaikutuksia rahassa mitattuna. Eri aikoina tapahtuvat kustannukset ja hyödyt otetaan huomioon diskonttauksen avulla. Kustannus-hyötyanalyysin avulla voidaan arvioida yksittäisten hankkeiden kansantaloudellista ja yhteiskunnallista kannattavuutta tai vertailla vaihtoehtoisia hankkeita keskenään. Kustannus-hyötyanalyysit ovat rutiinia suuria rakennushankkeita (esim. tiet ja satamat) suunniteltaessa, mutta ne ovat käyttökelpoisia työkaluja myös ympäristön tilan parantamiseksi tähtääviä hankkeita arvioitaessa. Kansainvälisten, suuren mittakaavan ympäristöongelmien, kuten Itämeren rehevöitymisen kustannus-hyötyanalyysi edellyttää paitsi kansallisia, myös valtiorajat ylittäviä taloudellisia tarkasteluja. Ympäristöinvestointien kustannus-hyötyanalyysissä käytetään työkaluina malleja, joissa yhdistetään luonnontieteellistä ja taloudellista tutkimustietoa.

Hankkeen tavoitteena oli laatia taloudellisia analyysejä Itämeren tilan parantamisesta ja riskien vähentämisestä. Analyysejä laadittiin kolmelle keskeiselle uhalle: rehevöitymiselle, laivaliikenteen öljyvahingoille ja vieraslajeille. Tarkastelutasoja oli myös kolme: koko Itämeri, aluetaso ja paikalliset tapaustutkimukset. Itämeren ravinnekuormituksesta ja rehevöitymiseen liittyvistä luonnontieteellisistä prosesseista oli käytettävissä kattavin tietopohja. Rehevöitymisen torjunnan kustannus-hyötyanalyysi voitiinkin ulottaa kattamaan koko Itämeri ja kaikki sen kuormituslähteet ja valuma-alueet. Öljytuhojen ennakko- ja jälkitorjunnan kustannuksia tarkasteltiin Suomenlahdella, joka on yksi Itämeren liikennöidyimmistä ja myös riskialttiimmista alueista. Itämeren mahdollisista vieraslajeista ei ole laadittu kattavia riskiarvioita, eikä siten koko Itämeren laajuisia taloudellisia tarkasteluja vieraslajeista voitu tehdä. Vieraslajien riskin vähentämistä ja niiden varautumista tutkittiin yhteen mahdollisen vieraslajiin ja leviämiskohteeseen liittyvän tapaustutkimuksen valossa.

Tutkimushanke tuotti tutkimustietoa ja työkaluja Itämeren suojelun suunnitteluun ja arviointiin kansallisella ja kansainvälisellä tasolla. Hankkeessa kerättiin kyselytutkimuksilla kaksi laajaa aineistoa Itämeren virkistyskäytöstä ja sen arvosta sekä

³ Vanhasen II hallitusohjelmassa vuonna 2007 myös mainittiin, että "Itämeren maat laativat Itämeren suojeluskenaarion (Stern malli) ja selvittävät vaihtoehtojen yhteiskunnalliset ja taloudelliset vaikutukset". Suomessa tehty työ pohjautuu tähän kirjaukseen. Hanke on valtioneuvoston sektoritutkimuksen neuvottelukunnan ja sen kestävä-kehitys jaoston vuonna 2009 käynnistämä.

alueen asukkaiden maksuhalukkuudesta rehevöitymisen vähentämiseksi. Rehevöitymisen torjunnan kustannus-hyötyanalyysi on ensimmäinen tässä laajuudessa tehty taloudellinen tarkastelu Itämeren suojelun yhteiskunnallisesta kannattavuudesta. Hyötyarviot ovat suoraan yhdistettävissä mitattavissa olevaan ekologiseen tietoon Itämeren tilasta, mikä mahdollistaa niiden suoraviivaisen hyödyntämisen kustannus-hyötyanalyysissä. Lisäksi rehevöitymisen vähentämisen kustannukset ja hyödyt on arvioitu tärkeälle tavoitteelle eli HELCOMin Itämeren suojelun toimintaohjelmalle, ja ne ovat liitettävissä myös EU:n meristrategiadirektiiviin tavoitteisiin. Taloudelliset tarkastelut Suomenlahden öljyvahinkoihin ja paikallisiin vieraslaji-invaasioihin varautumisesta ovat myös ensimmäisiä lajissaan Itämerellä.

Keskeisiä asiakkaita ja tiedon käyttäjiä ovat ympäristö- ja maataloushallinto Suomessa ja muissa Itämeren maissa, Itämeren merellisen ympäristön suojelukomissio (HELCOM) ja Itämeren tilasta huolestuneet kansalaiset. Hankkeessa laadittujen mallien avulla on mahdollista arvioida erilaisten toimenpideohjelmien vaikuttavuutta, kustannuksia ja hyötyjä etenkin rehevöitymisen torjunnassa. EU:n jäsenvaltiot voivat käyttää hankkeessa kehitettyä rehevöitymisen torjunnan kustannus-hyötyanalyysimallia yhtenä työkaluna mm. vastatessaan meristrategiadirektiiviin vaatimuksiin. Direktiivi edellyttää jäsenvaltioilta taloudellisia analyysejä toimenpideohjelmien suunnittelussa ja arvioinnissa vuonna 2015. Hankkeen työkalut ja tulokset tukevat myös rannikkovesien hoitoa säätelevän vesipuitedirektiivin taloudellisten tarkasteluiden toteuttamista. Hankkeen tuloksia ja menetelmiä voidaan mahdollisesti hyödyntää myös arvioitaessa Itämeren ekosysteemin monimuotoisuuden suojelun hyötyjä EU:n biodiversiteettistrategian toimeenpanoa suunniteltaessa. Lisäksi hanke tarjoaa tietoa Itämeren merkityksestä ja tärkeydestä Itämerestä ja ympäristöstämme kiinnostuneille kansalaisille.

Tässä raportissa esitellään hankkeen keskeisimmät tulokset. Kappaleissa 2-4 esitetään tuloksia rehevöitymiseen, öljyvahinkoihin ja vieraslajeihin liittyvistä taloudellisista tarkasteluista. Luvussa 5 käsitellään Itämeren virkistyskäytön merkitystä Itämeren kansalaisille. Luvussa 6 tehdään johtopäätöksiä, tuodaan esiin sovelluskohteita tiedolle ja pohditaan miten malleihin liittyviin epävarmuuksiin tulisi suhtautua tuloksia tulkittaessa. Mallien taustalla olevat menetelmät on kuvattu liitteissä. Yksityiskohtaiset kuvaukset löytyvät tutkimusjulkaisuista.



Janne Artell

Itämerellä kohtaavat kansalaiset, kauppa ja ympäristö

Tietolaatikko I: Itämeren kustannustehokkaan suojelun kannalta tärkeimmät kansainväliset sopimukset ja lainsäädäntö.

- Itämeren merellisen ympäristön suojelua koskeva yleissopimus (SopS 2/2000) on kansainvälinen valtiosopimus, jonka sopijapuolina ovat kaikki Itämeren rantavaltiot ja Euroopan komissio. Vuoden 1974 sopimus päivitettiin 1992 ja se saatettiin voimaan vuonna 2000. Sopimuksen toimeenpanoa varten vuonna 1974 on perustettu Itämeren suojelukomissio (eli Baltic Marine Environment Protection Commission; HELCOM).
- Itämeren maat ja EU:n komissio hyväksyivät vuonna 2007 HELCOM:n Itämeren toimintaohjelman (Baltic Sea Action Plan, BSAP; HELCOM 2007) joka kattaa Itämeren suojelun osalta neljä tärkeää osa-aluetta: rehevöitymisen torjunnan, luonnon monimuotoisuuden turvaamisen, haitallisten aineiden vähentämisen ja meriliikenteen vaikutusten ja riskien vähentämisen. Toimintaohjelman tavoitteena on saavuttaa Itämeren hyvä tila vuonna 2021. Toimintaohjelman ympäristötavoitteiden määrittämiseksi HELCOM on kehittänyt ekologisia mittareita ja ympäristön tilan arviointityökaluja (HELCOM HOLAS, HEAT, BEAT ja CHASE).
- Valtioneuvosto teki 2002 periaatepäätöksen toimista Itämeren suojelemiseksi eli Suomen Itämeren suojeleuohjelman. Ohjelman toteuttamiseksi ympäristöministeriö hyväksyi 2005 Itämeren ja sisävesien suojelun toimenpideohjelman. Lisäksi vuonna 2006 valtioneuvoston hyväksymällä ”Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015” ohjelmalla määritellään toimia, joiden tavoitteena on saavuttaa vesien hyvä tila ja estää tilan heikkeneminen. Näillä ohjelmilla Suomi toteuttaa myös HELCOM:n Itämeren toimintaohjelmaa.
- Euroopan Unionin (EU) meristrategiadirektiivin (2008/56/EY) tavoitteena on saavuttaa tai ylläpitää Euroopan merien hyvä tila vuoteen 2020 mennessä. Suomessa direktiivi on pantu täytäntöön lailla vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä (1299/2004, muut. 272/2011) sekä valtioneuvoston asetuksella merenhoidon järjestämisestä (980/2011). Merenhoitosuunnitelman ensimmäinen osa, joka käsittää alustavan arvion meren nykytilasta, meriympäristön hyvän tilan määrittämisen sekä ympäristötavoitteiden ja niihin liittyvien indikaattoreiden asettamisen komission päätöksen 2010/477/EY perusteella on valmistunut syksyllä 2012. Asiantuntijoiden laatima meren nykytilan laaja arvio sisältää myös taloudellisen ja yhteiskunnallisen arvion suojelutavoitteiden toteuttamisesta. HELCOM koordinoi meristrategiadirektiivin toimeenpanoa Itämeren alueella.
- EU:n vesipolitiikan puitedirektiivi (2000/60/EY) tavoitteena on saavuttaa pinta- ja pohjavesien hyvä ekologinen ja kemiallinen tila vuoteen 2015 mennessä (mukaan lukien rannikkovedet). Suomessa direktiivi on pantu täytäntöön samalla lailla vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä (1299/2004, muut. 272/2011) kuin meristrategiadirektiivi. Valtioneuvoston hyväksymissä vesienhoitosuunnitelmissa (2009) on esitetty rannikkovesien tilaluokitukset sekä asetettu ympäristötavoitteet ja määritetty rannikkovesien hyvän tilan saavuttamiseksi tarvittavat toimet valuma-alueella. Rannikkovesien hyvän tilan saavuttamiseksi tarvitaan sekä vesienhoidon että merenhoidon yhteensovittamista.
- EU:n Itämeren alueen strategia (KOM(2009) 248) sisältää ympäristöasioiden lisäksi muun muassa alueen turvallisuutta ja taloutta koskevia strategisia toimenpideohjeita. Strategian ympäristöosa tukee pääsääntöisesti Itämeren suojelukomission (HELCOM) Itämeren toimintaohjelmaa. Strategia kokoaa yhteen Itämeren alueelle yhteisesti määritetyt prioriteettialueet ja korostaa mm. EU:n lainsäädännön toimeenpanon merkitystä näiden tavoitteiden toteuttamisessa sekä EU:n eri rahoitusinstrumenttien käyttöä toimintasuunnitelman toteuttamisessa.

- EU:n yhdyskuntajätevesidirektiivi (91/271/ETY; Valtioneuvoston päätös No. 365/1994) asettaa yhdyskuntien jätevesienpuhdistuslaitoksille minimivaatimukset sekä määrittelee vaadittavan puhdistustehokkuuden pilaantumisen herkillä vesistöalueilla.
- EU:n nitraattidirektiivi (91/676/ ETY; Valtioneuvoston päätös No. 931/2000) suojelee vesiä maataloudesta peräisin olevien nitraattien aiheuttamalta pilaantumiselta. Direktiivin perusteella jäsenvaltiot ovat määritelleet pilaantumisen herkillä vesialueet, jotka ovat jo rehevöityneet tai voivat rehevöityä, ellei maatalouden nitraattipäästöjä vähennetä direktiivin edellyttämin toimin.
- Kansainvälisen merenkulkujärjestön (International Maritime Organization, IMO) vuonna 2004 tekemä alusten painolastivesien ja sedimenttien valvontaa ja käsittelyä koskeva yleissopimus (BWMC) on Suomessa ratifiointivaiheessa. Sopimus tulee voimaan vaiheittain sen jälkeen, kun sen on ratifioinut 30 maata, jotka edustavat vähintään 35 % maailman kauppalaivaston tonnistosta. Sopimus on tärkein yksittäinen sopimus vieraslajien leviämisen estämiseksi maailmanlaajuisesti. Tällä hetkellä (syyskuussa 2012) ratifioineita maita on tarpeeksi, mutta tonnistosta puuttuu vielä 7%. Todennäköisesti sopimus tulee voimaan parin vuoden sisällä ja näin ollen tullee vähentämään vieraslajien leviämiskä. HELCOMissa on sovittu, että kaikki maat pyrkivät ratifioimaan sopimuksen viimeistään 2013. IMO:n MARPOL- 73/78 yleissopimus (International Convention for the Prevention of Pollution From Ships, 1973 as modified by the Protocol of 1978) ja sen liitteet säätelevät merenkulun ympäristönsuojelua.
- Kansainväliset öljyntorjuntaan liittyvät sopimukset, mm. vuoden 1992 Itämeren alueen merellisen ympäristön suojelua koskeva yleissopimus, Helsingin sopimus (SopS 2/2000), vuoden 1990 kansainvälinen yleissopimus öljyvahinkojen torjuntavalmiudesta, torjumisesta ja torjuntayhteistyöstä (IMO/OPRC) (SopS 32/1995), sekä sopimus Tanskan, Suomen, Islannin, Norjan ja Ruotsin välillä yhteistyöstä öljyn tai muiden haitallisten aineiden aiheuttaman meren pilaantumisen torjunnassa, 1993 (Pohjoismainen torjuntayhteistyösopimus) (SopS 71-72/1998).
- Biologista monimuotoisuutta koskevan yleissopimuksen (SopS 78/1994), tavoitteena on biologisen monimuotoisuuden suojelu ja sen osien kestävä käyttö. Sopimuksen piiriin kuuluvat lajien sisäinen ja välinen monimuotoisuus sekä ekosysteemien monimuotoisuus.
- EU:n biologisen monimuotoisuuden strategia (EU Biodiversity Strategy 2012; KOM(2011) 244) määrittelee perusteet ja tavoitteet luonnon monimuotoisuuden suojelulle. Strategian tavoitteena on pysäyttää lajien häviäminen sekä turvata luonnon monimuotoisuuteen perustuvat ekosysteemipalvelut. Se korostaa ekosysteemipalveluiden hyödyntämiseen pohjautuvan vihreän talouden merkitystä sekä luonnon aineellisten ja aineettomien hyödykkeiden huomioimista mm. kansantaloudellisissa arvioissa. Itämeri Stern-verkoston hankkeitten (<http://www.stockholmresilience.org/balticstern/>) tuloksia ja työkaluja voidaan myös soveltaa EU:n biodiversiteettistrategian toimeenpanoon liittyvään taloudelliseen arviointiin ekosysteemipalvelujen arvosta (Target 2, Action 5).
- EU:n luontodirektiivin (92/43/ETY) tavoitteena on lajien ja luontotyyppien suojelu, ja se vahvistaa osaltaan biologisen monimuotoisuuden suojelua jäsenvaltioiden alueella.

2 Rehevöitymisen torjunnan kustannukset ja hyödyt

Tässä kappaleessa arvioidaan arvottamistutkimusten, empiiristen mittausaineistojen sekä luonnontieteen ja taloustieteen mallien avulla rehevöitymisen torjunnan kustannuksia ja hyötyjä. Lisäksi tarkastellaan Itämeren alueen kansalaisten näkemyksiä ja tietoja rehevöitymisestä. Hyödyt perustuvat alueen kansalaisten maksuhalukkuuteen rehevöitymisen vähentämisestä, joka arvioitiin ehdollisen arvottamisen menetelmän avulla. Rehevöitymisen torjunnan kustannukset arvioitiin laskemalla yhteen maataloudessa ja jätevedenpuhdistuskapasiteetin parantamiseksi tehtävien toimenpiteiden kulut. Rehevöitymisen kustannus-hyötyanalyysi perustuu integroituun malliin, jonka rakenne on kuvattu liitteessä 1 ja sisältö tarkemmin liitteissä 2–9.

Lähestymiskulma Itämeren rehevöitymiseen ylittää valtiorajat. Itämerta ja sen valuma-aluetta tarkastellaan kokonaisuutena, jossa Itämeren tilan kehitys on seurausta ketjusta ihmisen toimintaan, valuma-alueisiin ja meriekosysteemiin liittyviä syy-seuraussuhteita ja prosesseja. Tulokset rehevöitymisen torjunnan hyödyistä ja kustannuksista voidaan kuitenkin laskea maittain ja alaittain. Mallia voidaan käyttää muun muassa tarkasteltaessa yksittäisen maan mahdollisuuksia torjua Itämeren rehevöitymistä suhteessa yhteistyön tarjoamiin mahdollisuuksiin.



Sinileväkukinnat ovat tuttu näky Itämerellä

Maiju Lehtiniemi

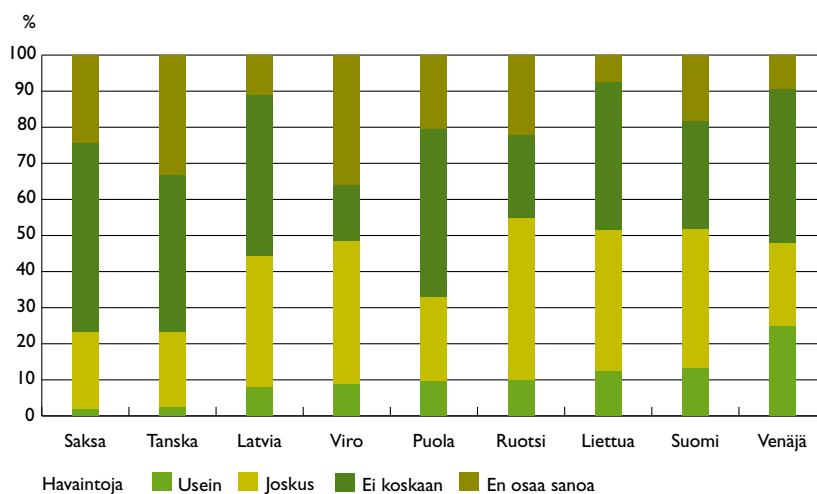
Hyödyt Itämeren tilan parantamisesta

Kansalaisten arvostuksista ja heidän kokemistaan rahamääräisistä hyödyistä rehevöimisen vähentämisestä saatiin tietoa kansainvälisenä yhteistyönä toteutetusta kyselytutkimuksesta. Tämän laajan tutkimuksen tuloksia esitellään työstä julkaistussa työpaperissa (Ahtiainen ym. 2012b). Kaikissa yhdeksässä Itämeren maassa tehdyllä kyselyllä selvitettiin kansalaisten maksuhalukkuutta ja näkemyksiä rehevöitymisen torjunnasta. Tutkimuksessa hyödynnettiin ehdollisen arvottamisen menetelmää, joka on yksi käytetyimmistä ympäristöhyötyjen arvottamisen menetelmistä (Carson ja Hanemann 2005). Menetelmässä kansalaisilta kysytään heidän maksuhalukkuuttaan ympäristön tilan muutoksesta huolellisesti suunnitellun kyselytutkimuksen avulla. Maksuhalukkuus kuvaa hyötyjä, joita kansalaiset kokevat ympäristön tilan parantumisesta. Ehdollisen arvottamisen menetelmä valittiin sen perusteella, että sillä voitiin arvioida myös Itämeren käytöstä riippumattomia niin kutsuttuja olemassaoloarvoja. Näiden arveltiin aiempien tutkimusten perusteella olevan merkittäviä, sillä Itämeri on ainutlaatuinen merialue. Lisäksi ehdollisella arvottamisella voitiin arvioida maksuhalukkuutta Itämeren tilassa tapahtuvalle muutokselle, jota ihmiset eivät ole vielä kokeneet.

Kyselyt toteutettiin vuoden 2011 loppupuolella maasta riippuen internet-kyselynä tai henkilökohtaisten haastatteluiden avulla. Yhteensä vastaajia oli yli 10 000. Otokset valittiin koko maan alueelta kaikissa Itämeren rannikkovaltioissa, eli myös valuma-alueen ulkopuolelta. Menetelmä ja kyselyn toteutus on kuvattu tarkemmin liitteessä 8.

Kyselyn perusteella vastaajien tietämys Itämeren rehevöitymisestä vaihtelee suuresti maiden välillä. Valtaosa vastaajista Suomessa ja Ruotsissa oli kuullut rehevöitymisen aiheuttamista muutoksista, kun taas Saksassa ja Venäjällä ne eivät olleet niin tuttuja. Vaikutuksista tutuimpia olivat sinileväkukinnat ja veden samentuminen. Myös merenpohjan hapettomuus ja muutokset kalakannoissa olivat varsin hyvin tiedettyjä, kun taas vedenalaisten niittyjen katoaminen oli odotetusti monille vastaajille tuntematon ilmiö.

Hieman alle puolet vastaajista oli henkilökohtaisesti kokenut rehevöitymisen vaikutuksia Itämerellä. Saksassa ja Tanskassa vain noin viidenneksellä vastaajista oli kokemuksia rehevöitymisestä (kuva 1). Yleisimmin havaittuja rehevöitymisen seurauksia olivat sinileväkukinnat ja veden sameus. Vastaajat pitivät kaikkia esitetyjä rehevöitymisen vaikutuksia ongelmallisina. Tämä osoittaa, että rehevöityminen nähdään kokonaisuudessaan ongelmana, ja kaikkien sen haitallisten seurausten vähentäminen koetaan tärkeäksi.



Kuva 1. Kyselyyn vastanneiden omat havainnot Itämeren rehevöitymisestä

Kansalaisten maksuhalukkuutta Itämeren rehevöitymisen vähentämisestä kysyttiin erityisen Itämeri-veron muodossa. Muutos Itämeren tilassa esitettiin värikartoilla, jossa jokainen väri oli liitetty tiettyyn rehevöitymisen tasoon. Kukin taso kuvattiin kyselyssä sanallisesti. Vastaajaa pyydettiin ilmoittamaan maksuhalukkuutensa meren tilassa tapahtuvalle muutokselle, jos sen parantamiseksi tehtäisiin lisätoimenpiteitä ja sen seurauksena rehevöityminen vähenisi. Rehevöitymisen kuvaus kyselyssä on esitetty tarkemmin liitteissä 7 ja 8.

Itämeren rannikkovaltioiden kansalaiset ovat yleisesti ottaen halukkaita maksamaan Itämeren tilan parantamisesta, eli muutos on heille arvokas. Taulukossa 1 esitetään maksuhalukkaiden osuudet, kun kyselyn otos on korjattu edustamaan kunkin maan kansalaisia tulo- ja koulutustason, iän, perhekoon ja sukupuolijakauksen mukaisesti. Maksuhalukkaita on eniten Ruotsissa, jossa noin 76 % kansalaisista on valmiita maksamaan Itämeren tilan parantamisesta. Suomessa on Ruotsin jälkeen suurin osuus maksuhalukkaita, noin 65 %. Muissakin maissa, Venäjää lukuun ottamatta, yli puolet vastaajista on halukkaita maksamaan. Maksuhalukkaiden osuuteen eri maissa vaikuttavat varsin todennäköisesti esimerkiksi rantaviivan pituus ja maan koko. Ruotsilla on huomattavasti pidempi rantaviiva Itämerellä kuin Venäjällä, ja maiden kokoero on suuri. Yksittäisten henkilöiden välillä halukkuutta maksaa selittävät muun muassa aikomus käydä Itämerellä tulevaisuudessa, omat kokemukset rehevöitymisen vaikutuksista ja käsitys rehevöitymisestä merkittävänä ongelmana.

Maksuhalukkuus selvitettiin erikseen kahden erisuuruisen ohjelman toteuttamisella saavutettavalle muutokselle meren tilassa. Ohjelmat kuvaavat HELCOMin Itämeren suojelun toimintaohjelman (BSAP) tavoitteiden osittaista (noin puolet) tai täyttä saavuttamista. Maksuhalukkuus laskettiin erikseen kullekin maalle ja molemmille ohjelmille, joista toimintaohjelman tavoitteet kokonaisuudessaan täyttävän ohjelman tulokset on raportoitu taulukossa 1 ja osittaisen tavoitteen saavuttamisen tulokset liitteessä 13. Keskimääräinen maksuhalukkuus on korkein Ruotsissa, Suomessa ja Tanskassa, ja alin Latviassa, Liettuassa ja Venäjällä. Maksuhalukkuus on kaikissa maissa korkeampi suuremmalle muutokselle meren tilassa eli Itämeren toimintaohjelman mukaisen suojelutason toteuttamiselle. Maiden väliset varsin suuret erot henkilökohtaisessa maksuhalukkuudessa selittyvät osin maiden välisillä tuloeroilla. Kun ostovoima otetaan huomioon, erot maksuhalukkuudessa maiden välillä säilyvät, joten maksuhalukkuuden suuruuteen vaikuttavat myös kulttuuriset ja muut tekijät. Tarkasteltaessa yksittäisiä maita muun muassa Itämeren virkistyskäyttö, tulojen suuruus ja ikä selittävät maksuhalukkuuden eroja henkilöiden välillä.

Kansallinen maksuhalukkuus vuodessa saatiin kertomalla maan aikuisväestön määrä maksuhalukkaiden osuudella ja keskimääräisellä maksuhalukkuudella. Keskimääräinen maksuhalukkuus voitiin yleistää koko väestölle, sillä otokset valittiin kaikissa maissa koko maan alueelta eikä pelkästään rannikkoseuduilta. Tästä johtuen otokset edustavat nimenomaan koko maan väestöä. Maakohtaiset hyödyt ovat korkeimmat Saksassa ja Ruotsissa, ja alimmat Latviassa, Liettuassa ja Virossa. Kansalliseen kokonaismaksuhalukkuuteen vaikuttavat keskimääräisen maksuhalukkuuden lisäksi aikuisväestön koko ja maksuhalukkaiden osuus. Väkirikkaiden Venäjän ja Saksan osalta kansallisten maksuhalukkuusarvioiden suuruus johtuu pitkälti suuresta kansalaisten määrästä.

Kokonaismaksuhalukkuus Itämeren suojelun toimintaohjelman mukaisen tilan saavuttamisesta kaikille yhdeksälle rannikkovaltiolle on noin 4 miljardia euroa. Maksuhalukkuus kuvaa kansalaisten kokemaa rahallisia hyötyjä toimintaohjelman tavoitteiden saavuttamisesta, joten hyötyjen voidaan arvioida olevan merkittävät. Luottamusvälit osoittavat, että arviot maksuhalukkuuden suuruudesta ovat melko vankkoja.

Taulukko 1. Maksuhalukkuus Itämeren suojelun toimintaohjelman tavoitteiden saavuttamisesta (vuoden 2011 euroina)

Maa	Aikuisväestö, miljoonaa	Maksuhalukkaiden osuus, prosenttia (95 % luottamusväli)	Keskimääräinen maksuhalukkuus, €/henkilö/vuosi (95 % luottamusväli)	Kansallinen maksuhalukkuus, milj. €/vuosi (95 % luottamusväli*)
Tanska	3,958	56,5 (52,7 – 60,3)	51,9 (43,5 – 61,1)	205 (172 – 242)
Viro	0,989	55,2 (49,0 – 61,4)	17,4 (12,8 – 22,8)	17 (13 – 23)
Suomi	3,617	65,2 (62,4 – 67,9)	55,7 (49,4 – 62,3)	201 (179 – 225)
Saksa	68,321	56,9 (53,4 – 60,5)	27,6 (23,8 – 31,7)	1886 (1627 – 2163)
Latvia	1,690	51,6 (47,2 – 56,0)	4,2 (3,2 – 5,3)	7 (5 – 9)
Liettua	2,516	56,9 (52,4 – 61,3)	6,3 (4,9 – 7,9)	16 (12 – 20)
Puola	24,624	61,0 (56,6 – 65,3)	8,6 (7,4 – 9,8)	211 (182 – 242)
Venäjä	119,696	31,8 (28,7 – 35,0)	5,8 (4,4 – 7,4)	695 (530 – 880)
Ruotsi	7,564	76,3 (72,4 – 80,2)	110,8 (95,5 – 127,0)	838 (722 – 961)
Yhteensä	232,975			4076 (3443 – 4764)

* Luottamusvälin alaraja (yläraja) on laskettu kertomalla maksuhalukkaiden osuuden 95 % luottamusvälin alaraja ja euromääräisen maksuhalukkuuden 95 %:n luottamusvälin alaraja (yläraja) keskenään. Luottamusvälien yhdistelmä on siten hieman laajempi kuin 95 % luottamusväli. Maksuhalukkuudet on muutettu euroiksi Euroopan keskuspankin vuoden 2011 keskimääräisillä valuuttakursseilla.

Hyötyarviot ovat samaa suuruusluokkaa mutta jonkin verran alhaisempia verrattuna 1990-luvun puolivälissä toteutettuun laajamittaiseen tutkimukseen rehevöitymisen vähentämisen hyödyistä Itämerellä (Turner ym. 1999, Markowska ja Zylicz 1999). Päivitettyjen tulosten mukaan kokonaismaksuhalukkuus kaikissa Itämeren maissa olisi aiemman tutkimuksen perusteella noin 4,8 miljardia euroa vuodessa (Söderqvist ja Hasselström 2008). Havaittu ero maksuhalukkuudessa voi johtua esimerkiksi siitä, että aiemmassa tutkimuksessa ei tehty alkuperäisiä arvottamistutkimuksia kaikissa maissa vaan siirrettiin hyötyarvioita maiden välillä. Lisäksi Itämeren tilassa tapahtuva muutos ja sen aikajänne eroavat tutkimusten välillä.

Tuloksia arvioitaessa on huomioitava, että maksuhalukkuus perustuu kyselyihin todellisen maksukäyttäytymisen sijaan. Aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että kyselyissä mitattu hypoteettinen maksuhalukkuus on usein todellista korkeampi (Whitehead & Blomquist 2006). Harhaa on kuitenkin pyritty pienentämään huolellisella kyselyn suunnittelulla, esimerkiksi kehottamalla vastaajia harkitsemaan vastaustaan huolellisesti ja ottamaan huomioon käytettävissä olevat tulonsa. Maksun kerääminen veroina ja Euroopan vallitseva taloustilanne ovat tekijöitä, jotka saattoivat osaltaan laskea vastaajien kyselyssä ilmoittamia maksuhalukkuuksia. Lisäksi otoksesta ei ole poistettu niin kutsuttuja protestivastaajia, jotka kokevat hyötystä Itämeren tilan parantamisesta mutta ovat ilmoittaneet olevansa haluttomia maksamaan (Meyerhoff & Liebe 2006). Protestivastaus voi johtua esimerkiksi siitä, että vastaaja vastustaa kyselyssä esitettyjä tietoja tai ehdotettua maksutapaa eli veronkorotusta (Jorgensen ym. 1999). Protestivastaajien jättäminen otokseen laskee osaltaan arvioituja maksuhalukkuuksia.

Maakohtaisia hyötyjä arvioitaessa keskimääräiset maksuhalukkuudet on yleistetty koko aikuisväestölle johtuen siitä, että otokset valittiin kaikissa maissa koko maan alueelta eikä pelkästään rannikkoseuduilta. Erityisesti Venäjän tapauksessa tätä voi arvostella, sillä monet sen alueet sijaitsevat hyvin kaukana Itämerestä. Kustannus-hyötyanalyysin tulos ei kuitenkaan muutu, vaikka hyödyt laskettaisiin ainoastaan Venäjän Itämeren rannikkoalueiden, eli Leningradin, Pietarin ja Kaliningradin asukkaille koko maan väestön sijaan, sillä Venäjän osuus kokonaishyödyistä on melko pieni. Maksuhalukkaiden rajaaminen vain rannikkoalueella asuviin venäläisiin kuitenkin pienentää hyötyjä jonkin verran.

Arvottamistutkimus on ensimmäinen, joka on toteutettu samanlaisena kaikissa Itämeren maissa. Lisäksi uutta on se, että hyödyt on liitetty suoraan Itämeren tilan muutokseen ekologisen mallinnuksen avulla, mikä mahdollistaa hyötyarvioiden suoraviivaisen käyttämisen osana kustannus-hyötyanalyysia. Aiempi laaja tutkimus maksuhalukkuudesta Itämeren rehevöitymisen vähentämisestä toteutettiin 1990-luvun puolivälissä Puolassa, Ruotsissa ja Liettuassa, ja tulosten perusteella hyödyt arvioitiin muille Itämeren maille (Turner ym. 1999). Hyötyjen siirtäminen saattoi heikentää tulosten luotettavuutta niiden maiden osalta, joissa omaa arvottamistutkimusta ei tehty. Hyötyjen siirto maiden välillä on vaikeaa erityisesti, kun maat eroavat esimerkiksi tulotason suhteen (Ready ja Navrud 2006, Bateman ym. 2011).

2.2

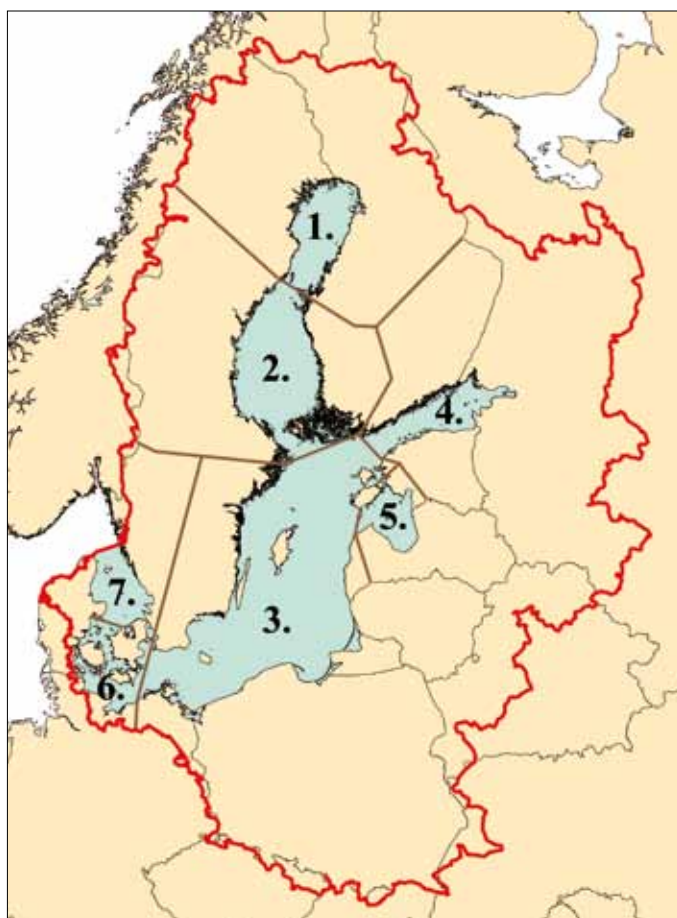
Kuormitusvähennysten kustannukset

Itämeren tilan parantamiseksi sen rannikkovaltioiden on vähennettävä typpi- ja fosforikuormitustaan mereen. Itämeren ravinnekuormitus koostuu jokien kautta valuma-alueilta tulevasta kuormituksesta, ilmansaasteiden laskeumista sekä laivojen jätevesistä (ks. liite 12). Jokikuormitus sisältää sekä hajakuormituksesta (metsät, pellot ja suot) että valuma-alueen pistekuormituslähteistä (teollisuuslaitokset, jätevedenpuhdistamot, maatalouden tuotantorakennukset) mereen tulevat ravinteet. Tässä tutkimuksessa kuormituksen vähentämisen kustannukset lasketaan maataloudessa ja yhdyskuntien jätevedenpuhdistuksessa tehtävien toimenpiteiden perusteella. Tarkastelusta rajattiin pois metsätalouden toimenpiteet, koska niiden vaikuttavuudesta ja kustannuksista koko Itämeren valuma-alueella ei ollut saatavissa kattavaa tietoa.



Pelloilta huuhtoutuu ravinteita vesistöihin muun muassa sulamisvesien mukana

Maatalouden toimenpiteisiin kuuluvat epäorgaanisten lannoitteiden käytön rajoittaminen, tuotantoeläinten määrän vähentäminen, siepparikasvien⁴ viljely sekä kosteikkojen ja laskeutusaltaiden⁵ lisärakentaminen. Yhdyskuntien kuormaa vähentäviä toimenpiteitä ovat jätevedenpuhdistuksen kehittäminen sekä siirtyminen fosfaattitomiin pesuaineisiin. Toimenpiteiden vaikuttavuus ja kustannus vaihtelee maittain. Kustannusten laskemiseen käytetty valuma-aluemalli on kuvattu tarkemmin liitteessä 9. Yksityiskohtaiset kustannusfunktiot esitetään tutkimusjulkaisuissa (Ahlvik ym. 2012, Ahlvik ja Hyytiäinen 2012, Hasler ym. 2012). Laskelman lähtökuormitus on laskettu viimeisimpien tietojen perusteella eli keskiarvona vuosien 2004-2008 kuormituksesta. Lähtökuormitus ja HELCOMin Itämeren toimintaohjelman mukaiset allas- ja maakohtaiset tavoitteet kuormitukselle on kuvattu liitteessä 12. Ennakoitu todennäköisin ravinnekuormituksen kehitysura (ns. perusura) esitetään perusteluneen liitteessä 3. Kuva 2 esittää tutkimuksessa sovelletun Itämeren allas- ja valuma-aluejaon. Kustannukset ilmaistaan vuotuisina keskiarvoisina lukuina⁶.



Kuva 2. Itämeren ja sen valuma-alueen jako. Kuvaan merkityt altaat: 1. Perämeri, 2. Selkämeri, 3. Pääallas, 4. Suomenlahti, 5. Riianlahti, 6. Tanskan salmet, 7. Kattegat. (HELCOM map and data service, 2012)

⁴ Siepparikasvit (eng. catch crops) ovat nopeakasvuisia, varsinaisen viljelykasvin kanssa samanaikaisesti tai kasvukausien väliseksi ajaksi viljeltyjä maaperän kasvupeitteisenä pitäviä kasveja, jotka sitovat ravinteita ja estävät ravinnehuuhtoumia.

⁵ Laskeutusallas (eng. sedimentation pond) on pieni pintavaluma-allas, joka on rakennettu pääasiassa pidättämään fosforia. Altaiden fosforinsidontaa voidaan tehostaa kemiallisesti. Lisätietoja esimerkiksi Owenius ja van der Nat (2011).

⁶ Eri ajankohtiin sijoittuvat kustannuserät on diskontattu nykyhetken 3,5% korkokantaa käyttäen. Samaa korkokantaa käytetään myös diskontattaessa vähitellen parantuvasta veden laadusta koituvia hyötyjä.

Taloudellisesti tehokkaassa (eli kustannustehokkaassa) vesiensuojelussa toimenpiteet kohdennetaan niin, että haluttu tavoite saavutetaan mahdollisimman pienin kustannuksin. Tässä luvussa ratkaisemme kustannustehokkaat toimenpiteet Itämeren suojelun toimintaohjelman (BSAP) mukaisten tavoitteiden saavuttamiseksi, ja arvioimme niiden perusteella ohjelman kustannuksia. Esitämme Itämeren toimintaohjelmalle kaksi vaihtoehtoista toteutustapaa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa (tavoite 1) maat toteuttavat Itämeren toimintaohjelman maa- ja allaskohtaiset kuormitusrajoitteet. Toisessa vaihtoehdossa (tavoite 2) johdamme uudet, kustannustehokkaat maa- ja allaskohtaiset kuormitusrajoitteet siten, että toimintaohjelmassa määritetty meren tila saavutetaan pienimmin mahdollisimmin kustannuksin. Molemmat laskelmat johtavat samansuuruiseen parannukseen Itämeren eri altaissa, mutta tavoitteen 2 mukaisessa ratkaisussa toimenpiteet suunnitellaan kustannustehokkaasti eri maiden välillä. Tämän vertailun tarkoituksena on arvioida, kuinka suuria kustannussäästöjä olisi saavutettavissa kuormituskiintiöiden uudelleensuunnittelulla. Maakohtaiset kustannukset ja kuormitukset molemmille vaihtoehdoille esitetään taulukossa 2.

Taulukko 2. Itämeren toimintaohjelman (BSAP) toteuttamisen kustannukset ja maakohtaiset kuormitukset sopimuksen alkuperäisessä muodossa (tavoite 1) sekä kustannustehokkaassa vaihtoehdossa (tavoite 2)

Maa	Kustannus (milj. €/ vuosi)		Typpikuormitus (tonnia / vuosi)			Fosforikuormitus (tonnia / vuosi)		
	Tavoite 1	Tavoite 2	Nyky- kuorma	Tavoite 1	Tavoite 2	Nyky- kuorma	Tavoite 1	Tavoite 2
Ruotsi	326	211	116 190	98 960	102 330	3492	3076	2802
Suomi	49	52	78 110	73 860	73 890	3358	3057	2943
Venäjä	113	106	87 750	82 050	85 000	5537	3980	3471
Viro	36	36	33 650	28 420	27 810	1240	1039	880
Latvia	123 ¹	55	81 810	69 890	73 640	2994	2120	2172
Liettua	134 ¹	83	46 630	31 170	29 560	2111	1135	1204
Puola	753	580	193 590	152 960	161 590	11 790	4962	5454
Saksa	651	99	20 080	15 230	18 900	478	164	260
Tanska	620	267	48 900	38 640	40 160	1719	1368	1289
Yhteensä	2803	1487	706 710	591 180	612 880	32 719	20 901	20 475

¹ Tavoitteen 1 mukaista maakohtaista fosforivähennystä ei saavuteta Latvian ja Liettuan osalta. Sarakkeessa ilmoitettu luku perustuu suurimpaan mahdolliseen vähennykseen, joka Latvian osalta johtaa 52 %, ja Liettuan osalta 51 % vähennykseen annetusta tavoitteesta.

Toimintaohjelman kuormitusvähennystavoitteet eivät ole saavutettavissa kaikkien maiden osalta. Latviassa ja Liettuassa vähennystavoitteiden saavuttaminen edellyttäisi suuria rakenteellisia muutoksia maatalouteen, kuten tuotantoeläinten vähentämistä alle puoleen perusuran mukaiseen kehitykseen verrattuna. Näin suuret muutokset on rajattu tästä tarkastelusta pois, koska niiden kerrannais- ja kustannusvaikutuksista muille talouden sektoreille ei ollut käytettävissä tietoa. Tavoitteiden saavuttamista näissä maissa vaikeuttaa niiden kautta mereen kulkeutuvien päästöjen kasvu viime vuosien aikana (HELCOM 2011), mikä voi selittyä myös sopimuksen ulkopuolisten maiden (Ukraina ja Valko-Venäjä) kasvaneesta kuormituksesta. Tässä tarkastelussa suurin mahdollinen kuormitusvähennys Latvian ja Liettuan osalta on noin puolet toimintaohjelmassa määritellystä tavoitteesta.

Kokonaiskustannusten vertailu taulukon 2 vaihtoehtoisten toimintasuunnitelmien välillä osoittaa, että Itämeren toimintaohjelmasta kaikille maille yhteensä koituvia kustannuksia voidaan vähentää merkittävästi (47 %) suunnittelemalla toimenpiteet kustannustehokkaasti eri maiden ja talouden sektoreiden välillä. Suurimmat

sallitut kuormitusmäärät kuhunkin altaaseen esitetään taulukossa 3. Kustannustehokas suunnittelu vähentää kokonaiskustannuksia kahdesta syystä. Ensiksi, saman altaan ympärillä olevat maat voivat pienentää kokonaiskustannuksia toteuttamalla toimenpiteet siellä, missä niihin käytetystä rahamäärästä saadaan suurin vaikutus. Esimerkiksi Suomenlahden suojelussa olisi kustannustehokasta toteuttaa osa Suomen vähennyskuormasta Virossa. Toiseksi, on kustannustehokasta toteuttaa joitain toimenpiteitä myös niillä valuma-alueilla, joita toimintaohjelma ei suoraan koske, sillä Itämeren altaiden välisen veden vaihdon vuoksi nämä toimenpiteet vaikuttavat myös muihin altaisiin. Esimerkiksi osa toimintaohjelman Tanskan salmiin ja Kattegatiin vaatimasta vähennyksestä on kustannustehokasta toteuttaa muiden altaiden valuma-alueilla sen sijaan, että Ruotsissa, Tanskassa ja Saksassa tehtäisiin kalliimpia toimenpiteitä. Itämeren päältäalla toimenpiteet kannattaa mieluummin suunnata jätevedenpuhdistuksen tehostamiseen Kaliningradissa kuin maatalouden alasajoon Latviassa ja Liettuassa. Yli maarajojen lasketussa kustannustehokkaassa vaihtoehdossa joitain toimenpiteitä tulee myös tehdä Perämeren ja Selkämeren valuma-alueilla, toisin kuin Itämeren toimintaohjelma edellyttää. Tarkemmat toimenpidesuunnitelmat esitetään liitteessä 14.

Taulukko 3. Suurimmat sallitut ravinnekuormat Itämeren altaisiin

Allas	Typpikuormitus (tonnia / vuosi)			Fosforikuormitus (tonnia / vuosi)		
	1997–2003 taso	Tavoite 1	Tavoite 2	1997–2003 taso	Tavoite 1	Tavoite 2
Perämeri	51 440	51 440	50 920	2580	2580	2267
Selkämeri	56 790	56 790	53 450	2460	2460	2167
Pääallas	327 260	237 013 ¹	241 300	19 250	7956 ¹	7666
Suomenlahti	112 680	106 680	110 300	6860	4860	4299
Riianlahti	78 400	78 400	78 400	2180	1880 ¹	1950
Tanskan salmet	45 890	30 890	32 880	1410	1410	829
Kattegat	64 260	44 260	45 640	1570	1570	1297
Yhteensä	736 720	605 370	612 890	36 310	22 716	20 475¹

¹Itämeren toimintaohjelman kolmansille osapuolille (Valko-Venäjä ja Ukraina) asettamat kuormituksen vähennysvelvoitteet on jätetty pois tästä tarkastelusta.

Tehokkaassa ratkaisussa toteutuvat kuormitusvähennykset (taulukko 2) ovat joissain tapauksissa suuremmat kuin toimintaohjelman asettama rajoitus vaatisi. Näin on niiden altaiden tapauksissa, joissa toimintaohjelma velvoittaa vain toisen ravinteen vähennyksiin, mutta (esim. kosteikkojen tai jätevedenpuhdistamojen) sivutuotteena myös toinen ravinne vähenee.

Hyödyt ja kustannukset Itämeren toimintaohjelman toteuttamisesta

Rehevöitymisen torjunnan kustannus-hyötyanalyysissä yhdistetään arvottamistutkimuksesta saatuja tuloksia tietoon erilaisten toimenpideohjelmien kustannuksista. Kustannus-hyötyanalyysijä voidaan laatia annetuille kuormitusvähennystavoitteille. Tällöin ratkaistaan toimintasuunnitelma, jolla annettu tavoite saavutetaan mahdollisimman pienin kustannuksin (ks. luku 2.2). Näitä kustannuksia verrataan arvottamistutkimuksesta saatuihin tuloksiin kansalaisten maksuhalukkuudesta kuormitusvähennysten mukaisesta veden laadun paranemisesta (ks. luku 2.1).

Taulukossa 4 esitetään Itämeren suojelun toimintaohjelman (BSAP) kustannustehokkaasta toteuttamisesta aiheutuvat hyödyt ja kustannukset, kun maat toteuttavat Itämeren toimintaohjelman maa- ja allaskohtaiset kuormitusvähennykset (tavoite 1) (ks. liite 12). Hyödyt ja kustannukset kuvataan vuotuisina keskiarvoina. Nettohyödyt-sarakkeessa on esitetty hyötyjen ja kustannusten erotus ja H/K-sarakkeessa hyöty-kustannussuhde. Nämä tunnusluvut kuvaavat ohjelman toteuttamisen yhteiskunnallista kannattavuutta. Hanke on kannattava, mikäli sen toteuttamisesta saatavat hyödyt ylittävät kustannukset eli nettohyödyt ovat positiiviset ja hyöty-kustannussuhde on suurempi kuin yksi.

Taulukko 4. Hyödyt ja kustannukset Itämeren toimintaohjelman (BSAP) toteuttamisesta (tavoite 1)

Maa	Hyödyt milj. €/vuosi	Kustannukset milj. €/vuosi	Nettohyödyt milj. €/vuosi	H/K
Ruotsi	838	326	512	2,5
Suomi	201	49	152	4,1
Venäjä	695	113	582	6,2
Viro	17	36	-19	0,5
Latvia	7	123	-116	0,1
Liettua	16	134	-118	0,1
Puola	211	753	-542	0,3
Saksa	1886	651	1235	2,9
Tanska	205	620	-415	0,3
Yhteensä	4076	2805	1271	1,5

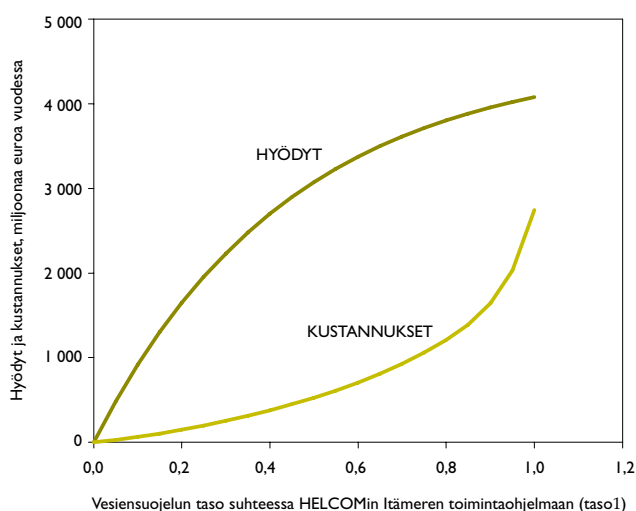
Kaikkien maiden yhteenlasketut hyödyt ylittävät Itämeren toimintaohjelmasta koituvat kustannukset. Maakohtaiset kuormitusvähennykset eivät kuitenkaan ole saavutettavissa Latvian ja Liettuan osalta (ks. luku 2.2), joten taulukon 4 kokonaiskustannus on aliarvio. Ohjelman toteuttamisesta aiheutuvat hyödyt ja kustannukset jakautuvat hyvin epätasaisesti Itämeren rannikkovaltioiden kesken. Osalle maita (Ruotsi, Saksa, Venäjä ja Suomi) toimintaohjelman hyödyt ylittävät kustannukset. Virossa, Latviassa, Liettuassa, Puolassa ja Tanskassa kustannukset sen sijaan ylittävät hyödyt. Näille maille on Itämeren toimintaohjelmassa määritelty kunnianhimoiset tavoitteet kuormitusvähennyksille, mutta kansalaisten veden laadun paranemisesta kokemat hyödyt eivät kata kustannuksia. Taulukon 4 mukainen ratkaisu ei kuitenkaan ole kustannustehokas koko Itämeren tasolla, koska toimenpiteiden vaikuttavuus ja kustannustaso vaihtelevat maiden välillä. Taulukossa 5 esitämme hyödyt ja kustannukset Itämeren toimintaohjelman mukaisille parannuksille Itämeren tilassa, jossa sekä maa- että allaskohtaiset kuormituskiintiöt määräytyvät laskennan seurauksena (tavoite 2).

Taulukko 5. Hyödyt ja kustannukset Itämeren toimintaohjelman (BSAP) toteuttamisesta yli maanrajojen ulottuvalla yhteistyöllä suunnittelussa ja toteutuksessa (tavoite 2)

Maa	Hyödyt milj. €/vuosi	Kustannukset milj. €/vuosi	Nettohyödyt milj. €/vuosi	H/K
Ruotsi	838	211	627	4,0
Suomi	201	52	149	3,9
Venäjä	695	106	589	6,6
Viro	17	36	-19	0,5
Latvia	7	55	-48	0,1
Liettua	16	83	-67	0,2
Puola	211	580	-369	0,4
Saksa	1886	99	1787	19,1
Tanska	205	267	-62	0,8
Yhteensä	4076	1489	2587	2,7

Rehevöitymisen torjunnan kokonaiskustannukset pienenevät ja yli maanrajojen laskettu suojelun kannattavuus paranee, kun kuormituskiintiöt suunnitellaan kustannustehokkaasti maiden välillä. Kustannustehokkaasti toteutetun toimintaohjelman hyödyt ylittävät sen kustannukset yli kahdella miljardilla eurolla vuosittain, ja ihmisten kokemat hyödyt meren suojelusta ovat 2-3 kertaiset kustannuksiin verrattuna. Joustava taakanjako myös muuttaa maiden osuuksia kuormitusvähennyksissä. Suomen kustannukset kasvavat hieman alkuperäisiin maa- ja allaskohtaisiin kiintiöihin perustuviin kustannuksiin verrattuna, mutta muissa maissa kustannukset pienenevät.

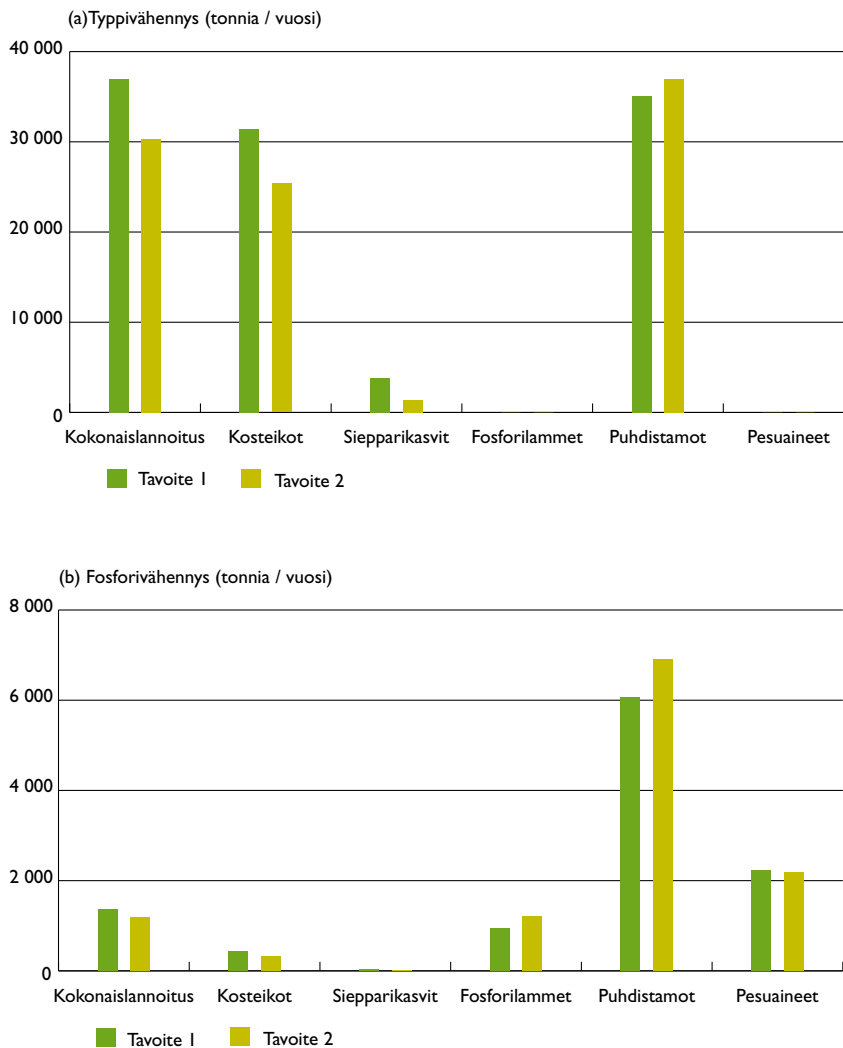
Hyödyt ja kustannukset Itämeren toimintaohjelman tavoitteiden osittaisesta saavuttamisesta (osittainen BSAP) esitetään liitteessä 13. Kuvassa 3 havainnollistetaan Itämeren rehevöitymisen torjunnan kokonaishyötyjä ja -kustannuksia eri vesiensuojelun tasoilla. Vaaka-akseli kuvaa leväbiomassojen avulla kuvattua vesiensuojelun tasoa suhteessa HELCOMin Itämeren toimintaohjelmaan (BSAP = taso 1). Kustannuskäyrä kuvaa kustannustehokkaiden toimenpideyhdistelmien kokonaiskustannuksia maa- ja allaskohtaisella kuormituskiintiöllä (tavoite 1). Kuva havainnollistaa sitä, miten pienet investoinnit vesiensuojelun ovat selvästi kannattavia, kun taas korkeampaa vesiensuojelun tasoa tavoiteltaessa uusien toimenpiteitten suhteellinen edullisuus pienenee.



Kuva 3. Rehevöitymisen torjunnan kokonaiskustannukset ja -hyödyt eri vesiensuojelun tasoilla

Hyötyjen ja kustannusten vertailu kuvassa 3 antaa tukea lisäpanostuksille Itämeren ravinnekuormituksen vähentämiseksi. Toisaalta liian kireät tavoitteet eivät ole taloudellisesti perustelujia. Veden laadun paranemisesta saatava rajahyöty pienenee, kun taas lisätoimenpiteistä aiheutuvat kustannukset ovat sitä suuremmat mitä parempaa veden laadun tasoa tavoitellaan.

Kuvassa 4 esitetään kustannustehokkaat toimenpiteet Itämeren toimintaohjelman mukaisten tavoitteiden saavuttamiselle. Typpikuorman vähentämiseksi tärkeimmät toimenpiteet liittyvät sekä maatalouteen että yhdyskuntien kuormitukseen, kun taas fosforikuorman vähentämisessä paino on yhdyskuntien toimenpiteillä. Typpikuorman vähentämiseksi tärkein toimenpide on epäorgaanisen typpilannoitteen käytön vähentäminen. Muita tärkeitä toimenpiteitä ovat kosteikkojen rakentaminen sekä lisäinvestoinnit jätevedenpuhdistamoihin. Epäorgaanisen lannoitteen käytön vähentäminen on kannattavampaa maissa, joissa alkuperäiset lannoitusmäärät ovat suuria, erityisesti Ruotsissa, Suomessa, Saksassa ja Tanskassa. Kosteikot ovat puolestaan tehokkaita Baltian maissa ja Puolassa, jossa niiden rakentamiskustannukset ovat pienet. Siepparikasvien käyttöönotto ja eläinmäärien vähentäminen ovat kalliita toimenpiteitä, ja niiden käyttö on suositeltavaa vain niillä alueilla, joissa vähennysvaatimus on suuri.



Kuva 4. Eri toimenpiteiden osuus (a) typpivähennyksestä ja (b) fosforivähennyksestä. Tavoite 1 kuvaa kuormitusvähennyystä (tonnia/vuosi), jossa maat noudattavat Itämeren toimintaohjelman alkuperäisiä maa- ja allaskohtaisia kiintiöitä. Tavoite 2 kuvaa ratkaisua, jossa kuormituskiintiöt on määritelty kustannustehokkaasti yli maarajojen.

Tärkein fosforikuormituksen vähentämiseen tähtäävä toimenpide on puhdistamoiden lisärakentaminen etenkin maissa, joissa tämänhetkinen puhdistuksen taso on alhainen. Muita tärkeitä toimenpiteitä ovat siirtyminen fosfaatittomiin pesuaineisiin, fosforilannoituksen vähentäminen sekä laskeutusaltaiden rakentaminen. Epäorgaanisen fosforilannoituksen vähentäminen on erityisen tärkeää maissa, joissa maaperän nykyinen fosforitaso on korkea. Kosteikoiden vaikutus fosforinpoistoon on pieni. Niitä rakennetaan lähinnä typenpoistoa varten.

Alkuperäinen toimintaohjelma on huomattavasti kalliimpi kuin kustannustehokas vaihtoehto, sillä maakohtaiset kuormitusrajoitteet aiheuttavat suuret vaatimukset ravinnekuormituksen vähentämiselle yksittäisillä alueilla. Täyttääkseen nämä kuormitusvaatimukset, tietyt alueet joutuvat turvautumaan korkeiden kustannuksen toimenpiteisiin, kuten eläinmäärien vähentämiseen. Kustannustehokkaassa vaihtoehdossa nämä toimenpiteet voidaan korvata merkittävästi halvemmilla keinoilla muilla valuma-alueen osilla, jonka seurauksena myös kokonaiskustannus pienenee.

2.4

Yli maarajojen optimoitu vesiensuojelun taso

Taulukoiden 4 ja 5 laskelmat perustuvat kustannustehokkaisiin toimenpiteisiin HELCOMin Itämeren toimintaohjelman toteuttamiseksi. Toimintaohjelman kuormitusvähennykset on johdettu ekologisista tavoitteista ja ne perustuvat ”saastuttaja maksaa”-periaatteen sovellukselle. Vaihtoehtoinen tapa on määrittää ihmiskeskeisesti optimoitu vesiensuojelun taso, eli taso, jolla rannikkovaltioiden ihmisten kokemat nettohyödyt ovat mahdollisimman suuret. Lähtökohdat ovat siis erilaiset ja onkin kiinnostavaa tutkia miten niiden tarjoamat ratkaisut rehevöitymisen torjuntaan poikkeavat toisistaan.

Optimaalinen vesiensuojelun taso lasketaan hakemalla sellainen toimenpideyhdistelmä maittain ja valuma-alueittain, jolla Itämeren veden laadun paranemisesta saatavien hyötyjen ja toimenpiteiden kustannusten erotus on mahdollisimman suuri. Tätä varten sekä hyödyt että kustannukset täytyy pystyä laskemaan mille tahansa toimintasuunnitelmalle ja veden laadun paranemisen tasolle kaikissa Itämeren altaissa. Kustannusmallit ovat suoraan liitettävissä tällaiseen tarkasteluun: niillä voidaan laskea minkä tahansa toimenpideyhdistelmän kustannukset ja minimoida kustannukset mille tahansa kuormitusvähennystavoitteelle. Hyötyjen osalta yleistäminen on vaikeampaa. Hyödyistä oli käytettävissä kansalaisten maksuhalukkuuteen perustuvaa tietoa vain kolmelle annetulle kuormitusvähennystavoitteelle: (1) perusuran mukaiselle kuormitustasolle (jolle maksuhalukkuus on nolla), (2) Itämeren toimintaohjelmaa matalammalle kuormitustavoitteelle (osittainen BSAP), sekä (3) Itämeren toimintaohjelman mukaiselle kuormitustavoitteelle (BSAP). Interpolointi hyödyistä eri veden laadun tasoilla tehtiin sovittamalla konkaavi yhtälö maksuhalukkuudelle funktiona veden laadun paranemisesta niissä altaissa, jotka kyselyyn vastanneet olivat ilmoittaneet ottavansa huomioon maksuhalukkuusarvioita tehdessään. Veden laatua kuvattiin leväbiomassojen avulla. Yhtälöt maksuhalukkuudelle levävähennysten aikaurasta laskettiin erikseen kevätleville ja sinileville, ja vastaajien arvioitiin arvostavan suhteellisia vähennyksiä näissä kahdessa leväryhmässä samalla painolla. Yhtälöt laadittiin erikseen kaikissa maissa kaikille eri allaskombinaatioita sisältäville ryhmille, joissa vastaajia oli yli 20.

Taulukko 6 esittää tulokset optimoinnista, jossa tavoiteltiin mahdollisimman suurta hyötyjen ja kustannusten erotusta koko Itämeren alueella. Hyödyt tästä suojelun tasosta ovat noin 9 % pienemmät verrattuna Itämeren toimintaohjelman (BSAP) toteuttamiseen.

Kustannukset sen sijaan vähenevät 68 % toimintaohjelman mukaiseen kustannustehok-
kaaseen toimitasuunnitelmaan verrattuna (vrt. taulukko 5). Kuormitusvähennysten
hyödyt ja kustannukset myös jakautuvat hieman tasaisemmin eri maiden kesken. Op-
timoitu vesiensuojelutaso on hieman pienempi kuin toimintaohjelman edellyttämä,
hyvään ekologiseen tilaan tähtäävä taso. Ero ei kuitenkaan ole suuri; optimoidussa
tasossa typpikuormitusta vähennetään 60 % toimintaohjelman (BSAP) tavoitteesta ja
fosforia 85 %. Kun otetaan huomioon laskelmaan liittyvät varaukset (ks. luku 2.5.), on
mahdollista että taloudellisesta näkökulmasta määritetty paras vesiensuojelun taso ei
merkittävästi poikkea ekologisista perusteista määritetystä tasosta.

Taulukossa 7 toistetaan optimointilaskelma lisäämällä laskelmaan rajoite, joka pa-
kottaa maakohtaiset hyödyt vähintään yhtä suuriksi kuin kustannukset. Tämä rajoite
takaa, että ratkaisu on taloudellisesti kannattava kaikille rannikkovaltioille. Rajoite
pienentää kokonaiskustannuksia, kokonaishyötyjä ja kuormitusvähennyksiä. Nega-
tiivisen nettohyödyn maat, Latvia, Liettua ja Puola, saavat taulukon 7 tapauksessa
pienemmät kustannukset kuin taulukon 6 tapauksessa. Kustannukset ja kuormitusvä-
hennykset ovat yhteiskunnalliseen optimiin verrattuna suuremmat niille maille, jotka
olivat nettohyötyjä yhteiskunnallisissa optimissa. Toisin sanoen, jos kaikille maille
taataan positiiviset nettohyödyt, toimenpiteitä siirretään negatiivisen nettohyödyn
maista positiivisen nettohyödyn maihin. Tämä aiheuttaa taloudellista tehottomuutta,
ja kokonaisnettohyödyt laskevat noin 100 miljoonalla eurolla vuodessa.

Laskelmissamme ei oteta suoraan kantaa siihen, kuka kuormitusvähennysten
kustannukset maksaa. Valtiot, yritykset tai yhteisöt voivat osallistua muissa maissa
toteutettavien toimenpiteiden rahoitukseen tai maat voivat keskenään sopia taakan-
jaon periaatteista. Yleinen periaate Itämeren suojelussa kuitenkin on ollut, että maat
kattavat omassa maassa tehtyjen toimenpiteiden kustannukset. Tässä tilanteessa
taulukon 7 ratkaisu on samanaikaisesti lähellä yhteiskunnallista optimia (lasken-
nallisesti) mutta on myös reilu siinä suhteessa, että kaikki maksajat hyötyvät (tai
eivät ainakaan koe haittaa) parannuksesta Itämeren tilassa. Tulokset erilaisten toi-
menpidesuunnitelmien kustannuksista ja hyödyistä tarjoavat myös lähtökohdan
taloustieteelliselle tutkimukselle kansainvälisistä ympäristösopimuksista (Pavlova
& de Zeeuw 2012, Ahlvik & Pavlova 2012).

Taulukko 6. Yhteiskunnallinen, yli maarajojen laskettu optimi Itämeren rehevöitymisen torjunnalle

Maa	Hyödyt milj. €/v.	Kustannukset milj. €/v.	Nettohyödyt milj. €/v.	H/K	Typpikuorma (tonnia/vuosi)		Fosforikuorma (tonnia / vuosi)	
					Nykytaso	Optimi	Nykytaso	Optimi
Ruotsi	795	17	778	47.9	11 6190	112 540	3492	3246
Suomi	182	11	171	17.3	78 110	77 350	3358	2988
Venäjä	588	65	523	9.1	87 750	86 120	5537	3801
Viro	17	20	-3	0.8	33 650	27 990	1240	915
Latvia	6	30	-24	0.2	81 810	74 740	2994	2309
Liettua	13	39	-26	0.3	46 630	35 690	2111	1373
Puola	178	290	-112	0.6	193 590	175 220	11 790	7949
Saksa	1741	3	1737	543.9	20 080	20 040	478	376
Tanska	200	8	191	24.0	48 900	48 150	1719	1765
Yhteensä	3718	483	3236	7.7	706 710	657 840	32 719	24 722

Taulukko 7. Yhteiskunnallinen optimi positiiviset nettohyödyt kaikille maille takaavalla rajoitteella

Maa	Hyödyt milj. €/v.	Kustannukset milj. €/v.	Nettohyödyt milj. €/v.	H/K	Typpikuorma (tonnia/vuosi)		Fosforikuorma (tonnia / vuosi)	
					Nykytaso	Optimi	Nykytaso	Optimi
Ruotsi	760	53	706	14,2	116 190	110 560	3492	2948
Suomi	172	23	149	7,4	78 110	77 250	3358	2852
Venäjä	566	99	467	5,7	87 750	85 040	5537	3600
Viro	15	15	0	1,0	33 650	29 010	1240	921
Latvia	6	6	0	1,0	81 810	79 240	2994	2619
Liettua	13	13	0	1,0	46 630	40 490	2111	1707
Puola	170	170	0	1,0	193 590	182 600	11790	9433
Saksa	1617	4	1614	437,1	20 080	20 030	478	372
Tanska	198	14	184	14,3	48 900	47 710	1719	1688
Yhteensä	3517	397	3119	8,9	706 710	671 930	32 719	26 140

2.5

Varaukset

Kaikkiin tulevaisuuteen ulottuviin kannattavuuslaskelmiin sisältyy epävarmuuksia. Epävarmuuden lähteitä on useita: lähtötilaan liittyvä mittausepävarmuus, perusuraan liittyviin valintoihin ja toimialakohtaisiin ennusteisiin liittyvät epävarmuudet, meren tilaa kuvaaviin malleihin liittyvät tiedon puutteista juontuvat epävarmuudet, toimenpiteiden kustannuksiin ja vaikuttavuuteen liittyvä alueellinen ja ajallinen vaihtelu ja epävarmuudet sekä hyötyjen arvottamismenetelmään liittyvät epävarmuudet. Dynaamisessa analyysissä virheet kertautuvat sitä mukaa, mitä kauemmaksi tulevaisuuteen tarkastelu yltää. Yksittäisten optimointilaskelmien tulokset tulee tulkita suhteessa laskelmiin ja niissä käytettyjen mallien epävarmuuksiin. Rakentava tapa tuloksinassa on lähteä liikkeelle erittelemällä keskeisimmät malleihin liittyvät puutteet ja pohtimalla näiden puutteiden vaikutusta tuloksiin.

Työssä käytetyt ekosysteemimallit eivät kykene täysimääräisesti ottamaan huomioon epälineaarisia muutoksia rehevöitymisen säätelytekijöissä. Hyvään tilaan pääseminen edellyttää kuormituksen laskiessa luultavasti alempaa kuormitustasoa kuin se taso, jolla systeemi oli vielä hyvässä tilassa kuormituksen kasvaessa (vrt. liitteessä 2 kuvattu rehevöitymisen kierre pohjan muuttuessa hapettomaksi, sekä Duarte ym. 2009). Lisäksi mallien kalibrointiaineistoon ei sisälly niin alhaisia ravinnekuormituksia kuin minkä vaikutuksia malleilla ennustetaan, mikä lisää omalta osaltaan malliennusteiden epävarmuutta.

Käytettyyn arvottamismenetelmään eli ehdolliseen arvottamiseen sisältyy kaikkien menetelmien tavoin epävarmuuksia. Menetelmä perustuu kyselyiden tekoon, joten epävarmuudet liittyvät pitkälti siihen, ymmärtävätkö vastaajat kysymykset samoin kuin tutkija on ne tarkoittanut, uskovatko he esitettyyn muutokseen ja toimenpiteisiin ja vastaavatko he totuudenmukaisesti. Tästä syystä arvottamiskyselyä testattiin huolellisesti eri maissa ennen lopullisen kyselyn toteuttamista. Itämeren tilan parantamisessa on todennäköistä, että myös meren käytöstä riippumattomat arvot (ns. olemassaoloarvot) ovat merkittäviä. Tutkittaessa näitä arvoja on hyödynnettävä kyselytutkimuksiin perustuvia menetelmiä. Tässä tutkimuksessa pyrittiin

vähentämään epävarmuuksia ja varmistamaan vastausten luotettavuus huolellisella kyselyn suunnittelulla ja toteutuksella.

Itämeren rehevöitymisen kustannus-hyötyanalyysissä tarkastellaan valuma-alueella tapahtuvien kuormitusvähennysten vaikutusta veden laatuun ja ihmisten kokemiin hyötyihin. Mallit kuvaavat veden laadun muutoksia merialueilla. Laskelmassa ei oteta huomioon, että ravinteiden kuormitusvähennykset parantavat myös sisävesien tilaa. Tämä vaikutus on merkittävä erityisesti Suomessa, jossa on suhteessa paljon sisävesiä ja jossa rehevöityminen on merkittävä sisävesien ongelma. Myös Puolassa huomattava osa väestöstä asuu sisämaassa, jolloin lähivesien vedenlaadulla voisi olla suurempaa merkitystä kuin Itämerellä.

Joillakin kuormitusvähennystoimilla voi olla myös muita positiivisia ulkoisvaikutuksia. Esimerkiksi kosteikkojen rakentaminen voi lisätä maatalousluonnon monimuotoisuutta ja virkistyskäyttömahdollisuuksia. Tutkimukssamme kuormitusvähennysten arvioidaan parantavan rannikkoalueiden veden laatua samassa suhteessa kuin ne parantavat veden laatua avomerellä. Valuma-alueella tapahtuvilla muutoksilla kuormituksessa on kuitenkin nopeampi vaikutus rannikkovesien laatuun ja vaste saattaa olla voimakkaampi. Lisäksi on muistettava, että parantuva vedenlaatu saattaa edistää joidenkin toimialojen liiketoimintamahdollisuuksia (esim. turismi) ja palveluiden tarjontaa, mikä ei välttämättä tule esiin kansalaisten maksuhalukkuudessa. Näistä kahdesta syystä on todennäköistä, että kansalaisten maksuhalukkuus Itämeren tilan parannuksista on aliarvio ravinnekuormitusvähennysten taloudellisesta kokonaishyödystä.

Itämeren toimintaohjelman saavuttamisen hyödyt voidaan tulkita myös käänteisesti menetettyinä hyötyinä (tai kustannuksina) siitä, jos Itämeren tilaa ei paranneta nykyisestä. Tässä tutkimuksessa hyötyjä on tarkasteltu kuitenkin ainoastaan nykytilasta parempaan suuntaan liikuttaessa. Esitettyjä hyötyarvioita ei siis voida suoraan käyttää nykyistä huonomman Itämeren tilan aiheuttamien rahallisten menetysten arviointiin.

Laskelmistamme saatuihin kustannusarvioihin liittyy molempiin suuntiin vaikuttavia varauksia. Ensinnäkin, tässä tutkimuksessa arvioidut keinovalikoimat rajattiin niihin, joiden vaikuttavuudesta ja kustannuksista oli saatavissa tutkimukseen perustuvaa kattavaa tietoa. Eri maissa voi kuitenkin olla muitakin, ainakin jossakin mittakaavassa toteuttamiskelpoisia toimenpiteitä, jotka ovat tässä tarkastelua tehokkaampia tai edullisempia. Esimerkiksi muutokset erilaisten pellonmuokkausmenetelmien soveltamisessa rajattiin keinovalikoiman ulkopuolelle, koska niistä ei ollut saatavilla riittävän kattavaa tutkimustietoa. Toiseksi, toimenpiteiden vaikuttavuus ja kustannukset vaihtelevat alueittain ja kustannustehokkaat toimintasuunnitelmat ovat aina tapauskohtaisia. Räättälöimällä kullekin valuma-alueelle sen elinkeinorakenteeseen, pinnanmuotoihin, maankäyttöön, maalajeihin ja käytettävissä oleviin teknologioihin perustuva tehokas toimenpideyhdistelmä voidaan tavoite todennäköisesti saavuttaa edullisemmin kuin tässä laskelmassa tehtyihin yksinkertaistuksiin perustuen. Kolmanneksi, teknisen kehityksen myötä entistä vaikuttavampia ja huokeampia keinoja tulee todennäköisesti jatkossa käytettäväksi.

Toisaalta, laskelmat kustannuksista sisältävät pelkästään suorat talouden toimijoille tulevat kustannukset. Epäsuorat, muille sektoreille aiheutuvat kustannukset esimerkiksi maatalouden merkittävistä rakenteellisista muutoksista voivat olla suuria, mutta niitä ei tässä tutkimuksessa kyetty arvioimaan. Tämän selvittämiseen tarvittaisiin taloudellisia yleisen tasapainon malleja. Eri toimenpiteille asetettiin maksimirajat estämään ratkaisut⁷, joihin liittyy merkittäviä kerrannaisvaikutuksia. Lisäksi on otettava huomioon, että kuormituksen perusura perustuu oletukseen tasapainoisesta

⁷ Esimerkiksi tuotantoeläimille 50 % vähennys perusuran mukaisesta ratkaisusta.

tulevaisuuden kehityksestä yhteiskunnassa ja maailmantaloudessa. Myöskään ilmastonmuutoksen vaikutuksia kuormitukseen ei lähdetty ennakoimaan suhteellisen lyhyellä 40 vuoden aikahorisontilla. Mikäli perusuran mukaisen kehityksen on syytä olettaa muuttuvan epävakampien olojen (esim. maailmanlaajuisiin ruoan tai energiantarjontaan liittyvien kriisien) myötä, myös kustannukset kuormitustavoitteiden saavuttamiselle kasvavat. Vesiensuojelun kokonaiskustannuksiin täytyy myös laskea mukaan erilaisten ohjauskeinojen (lainsäädäntö, taloudelliset kannustimet, neuvonta) transaktiokustannukset sekä hallinnossa että talouden toimijoilla.

Varauksiin liittyen voidaan päätellä seuraavaa:

- maakohtaiset hyödyt ravinnekuormituksen vähentämisestä ovat todennäköisesti aliarvioita, koska suotuisia muutoksia sisävesissä ei otettu lainkaan huomioon eikä muutoksia rannikkovesissä eritelty.
- vesiensuojelun kokonaiskustannukset voivat olla pienempiä tai suurempia kuin tässä raportissa on esitetty riippuen siitä mikä eri varauksien keskinäinen ja epävarmuuksien merkitys on.
- tässä raportissa esitetyt arviot vesiensuojelun yhteiskunnallisesta kannattavuudesta ovat todennäköisesti aliarvioita.

2.6

Ohjauskeinot

Itämeren rannikkovaltiot toteuttavat yhteisesti sovitut kuormitusvähennykset ottamalla käyttöön erilaisia lainsäädäntöön, taloudellisiin kannustimiin, neuvontaan ja seurantaan liittyviä ohjauskeinoja. Kukin Itämeren rannikkovaltio suunnittelee ohjauskeinojen yhdistelmän itsenäisesti – vesiensuojelu on osa kansallista poliittista päätöksentekoa ja käytännöt vaihtelevat maittain. Fosfaatteja sisältävien pesuaineiden käyttöä ja jäteveden puhdistusta ohjataan yleensä lakien ja asetusten, kunnallisten tai alueellisten viranomaisten myöntämien ympäristölupien ja neuvonnan avulla. EU-maiden maatalouden ravinnekuormitusta ohjataan rajoitusten ja lupakäytäntöjen lisäksi myös taloudellisin kannustimin, joista maatalouden ympäristötuki (maatalouden ympäristökorvausjärjestelmä vuodesta 2014 alkaen) on keskeisin instrumentti.

Tässä hankkeessa kehitetty malli rehevöitymisen torjunnan kustannuksista ja hyödyistä antaa tuloksia taloudellisesti tehokkaasta toimenpiteiden kohdentamisesta jäteveden puhdistuksen ja maatalouden välillä maittain ja alueittain. Tuloksista ei voi kuitenkaan suoraan tehdä johtopäätöksiä parhaista ohjauskeinojen yhdistelmistä. Seikkaperäisempi analyysi ohjauskeinoista edellyttäisi laskelmatulosten lisäksi mitattavaa tietopohjaa eri ohjauskeinojen sovellusten historiasta maittain ja tuntemusta hallinnon ja eri talouden toimijoiden asenneilmapiiristä säätelyyn ja taloudellisiin kannustimiin. Suomesta Itämereen tulevan ravinnekuormituksen hillitsemisessä oleellisin kysymys lienee EU:n yhteisen maatalouspolitiikan, kansallisen maatalouspolitiikan ja ympäristöpolitiikan ohjauskeinojen johdonmukainen soveltaminen.

3 Laivaliikenteen onnettomuuksien ennaltaehkäisy ja öljyntorjunta Suomenlahdella

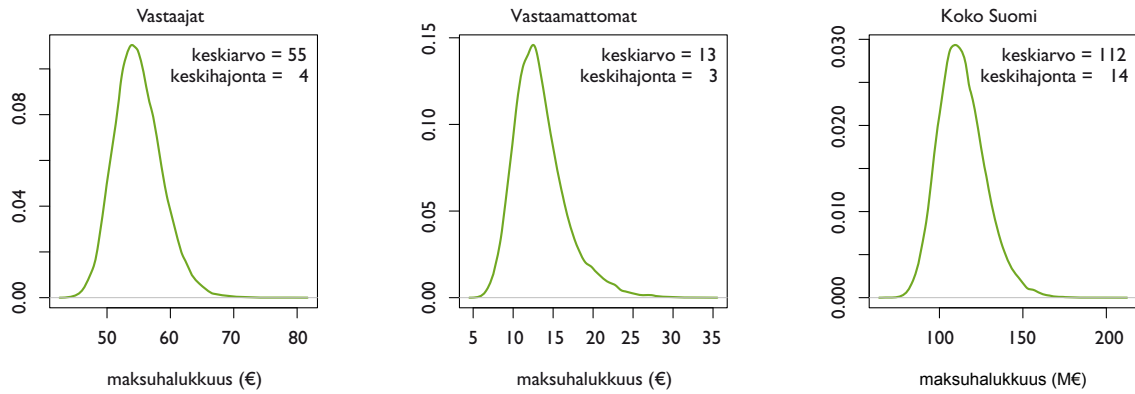
3.1

Maksuhalukkuus öljyntorjuntavalmiuden parantamiseksi Suomen merialueella

Öljyonnettomuuden sattuessa on tarkoituksenmukaista yrittää rajata vahingot mahdollisimman pienelle alueelle sekä pyrkiä estämään öljyn ajautuminen rannoille, missä aiheutuvat suurimmat haitat ympäristölle sekä virkistyskäytölle. Myös taloudellisesti öljyn puhdistaminen rannoilta on huomattavasti kalliimpaa verrattuna avomerellä tapahtuvaan öljyntorjuntaan. Tämän takia Suomen strategiana öljyntorjunnassa on pyrkiä keräämään kaikki öljy ennen sen ajautumista rannoille. Jotta tavoite olisi mahdollinen, pitää öljyntorjuntavalmiuden olla erinomaisella tasolla. Öljyntorjunnan kokonaiskapasiteettia voidaan mitoittaa esimerkiksi sen mukaan, miten paljon kansalaiset arvostavat öljystä puhdasta Itämerä ja ovat valmiita siitä maksamaan.

Tämä tutkimus perustuu vuonna 2006 tehtyyn arvottamistutkimukseen, jossa arvioitiin maksuhalukkuutta öljyntorjuntavalmiuden parantamiseksi Suomenlahdella. Arvottamismenetelmänä hyödynnettiin ehdollista arvottamista. Tässä hankkeessa kehitettiin todennäköisyyspohjainen tapa käsitellä kyselytutkimusten (ehdollinen arvottaminen) tuottamaa aineistoa. Tutkimuksen tulos muodostaa olennaisen osan öljyonnettomuuksiin varautumisen kustannus-hyötymallista (luku 3.2), jossa kaikki muutkin muuttujat kuvataan todennäköisyysjakaumina.

Aineiston muodostivat vastaukset kyselytutkimukseen, joka lähetettiin postitse 1000 suomalaiselle. Kyselyyn saatiin 373 vastausta. Kyselyllä kartoitettiin, kuinka paljon suomalaiset olisivat kertaluonteisesti valmiita maksamaan öljyntorjuntavalmiuden parantamiseksi verotuksen yhteydessä. Aineiston käsittelyyn käytettiin todennäköisyyspohjaista hierarkkista Bayes-mallia, joka ottaa huomioon useita kyselytutkimukseen liittyviä epävarmuuksia. Mallilla saatiin vastanneiden maksuhalukkuuden keskiarvoksi 55 €/henkilö. Kyselyyn vastaamattomien maksuhalukkuudeksi arvioitiin mallin mukaan keskimäärin 13 €/henkilö. Tulos yleistettiin 18-80-vuotiaisiin suomalaisiin, jolloin maksuhalukkuudeksi saatiin yhteensä keskiarvoisesti 112 M€ ja 95 % todennäköisyydellä maksuhalukkuus on välillä 89-148 M€ (kuva 5). Inflaatiokorjattuna vuoden 2011 rahaksi maksuhalukkuuden keskiarvo vastanneilla olisi 61 €/henkilö ja koko Suomen väestön osalta 125 M€.



Kuva 5. Vastaajien, vastaamattomien ja koko väestön maksuhalukkuuksien todennäköisyysjakaumat. Kaksi ensimmäistä kuvaa kertoo maksuhalukkuuden henkilöä kohden euroissa ja viimeinen on kaikkien suomalaisten yhteenlaskettu maksuhalukkuus miljoonissa euroissa.

Maksuhalukkuutta selittävinä tekijöinä käytettiin tuloja, asuinpaikkaa, sukupuolta ja ikää. Näistä asuinpaikalla oli selkeä vaikutus maksuhalukkuuteen siten, että Suomenlahden rannikolla asuvat olivat valmiita maksamaan enemmän. Korkeatuloiset ja naiset olivat myös valmiita maksamaan jonkin verran enemmän. Vastaajan iällä ei sen sijaan ollut vaikutusta maksuhalukkuuteen.

Vuonna 2011 valmistui valtion rahoituksella uusi öljyntorjunta-alus Louhi, jonka hankintakustannukset olivat 48 M€. Tutkimuksen perusteella voidaan katsoa, että tällä hankinnalla on ollut suomalaisten tuki ja kansalaiset olisivat olleet valmiita vielä merkittävästi suurempaankin investointiin öljyntorjuntavalmiuden parantamiseksi. Tämän hankinnan kustannustehokkuutta suhteessa muihin vaihtoehtoihin tarkastellaan seuraavassa luvussa. Tuloksia tarkastellessa on erityisesti syytä kiinnittää huomiota siihen, että maksuhalukkuus vastaa vuoden 2006 tilannetta, jonka jälkeen öljyn torjuntavalmiutta on jo nostettu.



Jaakko Heikkilä

Öljyn- ja kemikaalintorjunta-alus Louhi käytössä Balex Delta 2012 öljyntorjuntaharjoituksessa.

Öljyonnettomuuksiin varautumisen kustannus–hyötymalli Suomenlahdella

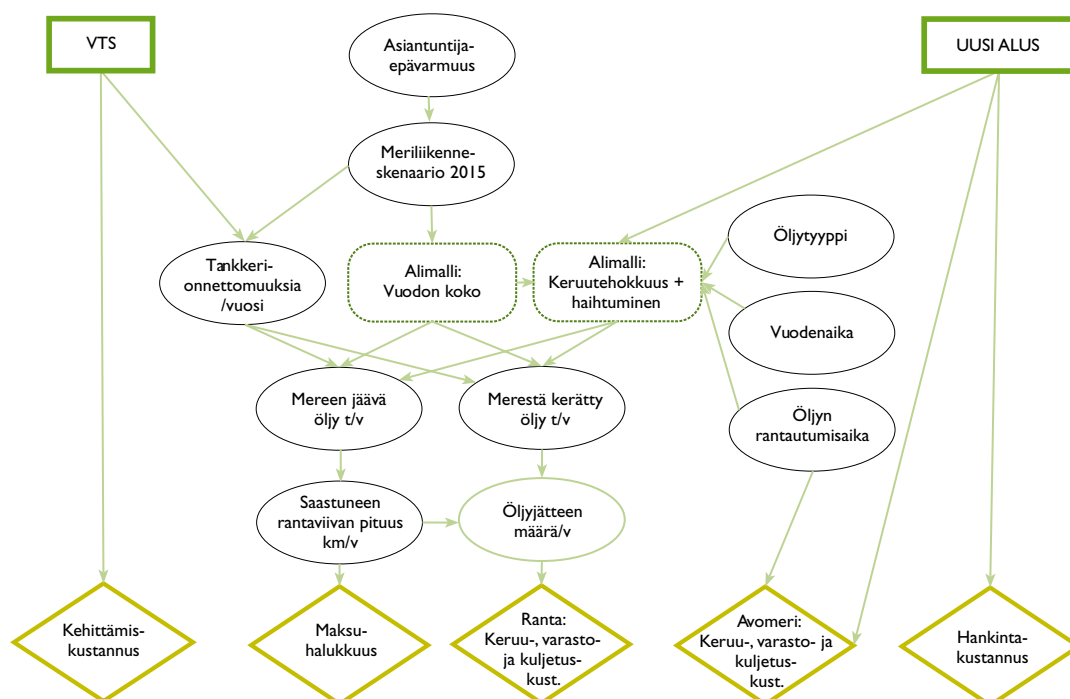
Meriliikenne Suomenlahdella on vilkasta, mikä on johtanut kasvaneeseen onnettomuusriskiin. Tämän takia Suomessa tarvitaan sekä öljyonnettomuuksien ennaltaehkäisyä että öljyntorjuntakapasiteettia. Hankkeessa laaditun öljyonnettomuuden kustannus–hyötymallin tavoitteena on tarkastella mahdollisen öljyonnettomuuden kustannuksia ja eri toimenpiteiden taloudellista tehokkuutta tulevaisuudessa päätöksissä, kun otetaan huomioon onnettomuuksien satunnaisuus ja epävarmuus, joka liittyy onnettomuuden laajuuteen ja siitä aiheutuviin kustannuksiin. Kustannukset sisältävät avomeren öljyntorjunnan, rannan öljyntorjunnan sekä kerätyn öljyjätteen kuljetus-, välivarastointi- ja käsittelykustannukset. Mallin avulla voidaan verrata yhtäältä öljyntorjunnan ja toisaalta onnettomuuden ennaltaehkäisyn parantamisen kustannuksia näistä toimenpiteistä saatavaan hyötyyn, jota mallissa edustaa öljystä puhdas rannikko, ja jonka arvo on laskettu suomalaisten maksuhalukkuuden perusteella. Vastavalla tavalla kuin aiempien lukujen rehevöitymisen hyötyjä kuvaavissa laskelmissa tätä maksuhalukkuutta voidaan käyttää arvottamaan meriluonnon kokonaisarvoa veronmaksajien näkökulmasta. Analyysi ei siis arvioi kaikkien jo tehtyjen öljyntorjuntainvestointien tehokkuutta. Malli on kuvattu tarkemmin liitteessä 10.

Tällä hetkellä Suomessa ei ole käytettävissä malleja, joiden avulla voitaisiin kohtuullisen epävarmuuden puitteissa laskea öljyntorjunnan tehokkuutta jäissä tai öljyn käyttäytymistä jään seassa tai sen alla, joten analyysistä jouduttiin jättämään talvikaudet pois. Myös jään aiheuttamien onnettomuustodennäköisyyksien laskeminen on haasteellista. Sekä yhteentörmäykset että karilleajot ovat jääväylillä ajettaessa erilaisia kuin avovesikaudella.

Mallilla voidaan myös vertailla eri toimenpiteiden, eli automaattisen VTS-hälytysjärjestelmän (VTS = vessel traffic service) ja uuden öljyntorjunta-aluksen kustannuksia niiden tehokkuuteen vähentää öljyn määrää rannikolla. Suomen rannikon merialueet on jaettu alusliikennepalvelu- eli VTS-alueisiin, joita valvovat VTS-keskukset. Ne tarjoavat mm. navigointiapua ja tiedotuspalvelua aluksille. Alusliikennepalvelun tarkoituksena on ehkäistä alusten vaarallisia kohtaamisia ja ohituksia sekä liikenteen ruuhkautumista. Uudella VTS-hälytysjärjestelmällä voitaisiin antaa automaattinen hälytys VTS-keskukselle, jos alus on törmäyskurssissa toisen aluksen kanssa. Hälytysjärjestelmä parantaisi VTS-keskusten kykyä havaita alusten yhteentörmäykseen johtavat laivojen kurssit ajoissa. Järjestelmä vähentää siten öljyonnettomuuden todennäköisyyttä. Automaattinen VTS-hälytysjärjestelmä ei ole vielä käytössä, mutta siitä on tehty alustava selvitys Merikotka-tutkimuskeskuksen projekteissa. Uutta öljyntorjunta-alus Louhea käytettiin esimerkkinä öljyntorjunnan tehostamisesta. Louhi-aluksen hankintahintaa ja muita tietoja käytettiin kuvaamaan uusien alusten todennäköisiä hyötyjä ja kustannuksia. Alus otettiin käyttöön vuonna 2011. Siinä on aallonvaimennin, minkä ansiosta se pystyy keräämään öljyä suuremmassa aallonkorkeudessa kuin vanhemmat öljyntorjunta-alukset. Lisäksi se pystyy toimimaan jääolosuhteissa tehokkaammin kuin muut öljyntorjunta-alukset. Vertaamalla aluksen tunnettuja kustannuksia ja keruutehokkuutta siitä todennäköisesti saatavissa olevaan hyötyyn voidaan arvioida, onko uusien alusten lisähankinta taloudellisesti perustellumpi ratkaisu kuin automaattinen VTS-hälytysjärjestelmä. Tätä kautta voidaan arvioida myös mahdollisten tulevien alusten hankintojen kustannustehokkuutta onnettomuutta estäviin toimenpiteisiin verrattuna.

Kustannus–hyötymallin pohjana käytettiin aiemmassa SAFGOF-projektissa luotua todennäköisyysmallia, jota kehitettiin tässä projektissa edelleen. Malli koostuu päämallista ja kahdesta alimallista: ”Vuodon koko” ja ”Keruutehokkuus ja haihtuminen”

Onnettomuustodennäköisyyden lisäksi mallissa huomioidaan myös erikokoisten vuotojen todennäköisyys, kun arvioidaan eri toimenpiteiden kannattavuutta. Suuret vuodot ovat selvästi epätodennäköisempiä kuin pienet.



Kuva 6. Kustannus-hyötymallin periaate. Suorakulmiot kuvaavat päätösmuuttujia, ovaalit satunaismuuttujia (eli muuttujia, joiden erilaisia mahdollisia tiloja kuvataan todennäköisyyksien avulla), pyöristetyt suorakulmiot alimalleja ja vinoneliöt hyötymuuttujia. Mallin varsinainen rakenne on esitetty liitteessä 10.

38 Ympäristöministeriön raportteja 22 | 2012

hälytysjärjestelmän tapauksessa vaikutuksen onnettomuuden todennäköisyyteen ja uuden aluksen kohdalla vaikutuksen öljyntorjunnan tehostamiseen ja näiden kautta öljyn määrään meressä onnettomuuden jälkeen. VTS-järjestelmän muutos ei voi täysin poistaa onnettomuuksia, vaan ainoastaan pienentää niiden todennäköisyyttä. Jos VTS-hälytysjärjestelmä ja uusi alus otetaan käyttöön, niistä aiheutuu kuluja, mutta samalla rannikolle päätyvän öljyn määrä todennäköisesti vähenee, jolloin rannan puhdistuskustannukset laskevat. Lisäksi ihmisten kokema hyöty kasvaa mallissa öljyntyymättömyyden perusteella.

Hyötyjä kuvataan mallissa muuttujalla, joka perustuu suomalaisten maksuhalukkuuteen Suomenlahden öljyntorjuntavalmiuden parantamisesta (kuvattu kappaleessa 3.1). Kustannukset koostuvat toteutuneista tai onnettomuuden jälkeen toteutuvista kustannuksista. Maksuhalukkuus muokattiin mallissa ilmaisemaan, kuinka paljon suomalaiset täysi-ikäiset henkilöt olisivat valmiita maksamaan öljyntyymättömästä rantaviivasta, eli kuinka paljon öljyinen rantaviiva aiheuttaa heidän mielestään Suomenlahdella arvon menetystä. Tämä mahdollistaa eri toimenpiteiden suhteellisen tehokkuuden vertailun vaihtoehtoisissa tulevaisuuden investoinneissa.

Kustannukset VTS-hälytysjärjestelmälle, avomerien torjunnalle ja rantapuhdistukselle saatiin Suomen ympäristökeskukselta (SYKE), asiantuntijoiden tekemistä arvioista ja mm. SÖKÖ-hankkeiden yhteydessä kerätyistä tiedoista ja julkaistuista raporteista. Kaikki kustannukset ja maksuhalukkuus laskettiin vuositasona, sillä myös onnettomuuksien todennäköisyys ja sitä kautta mereen päätyvän öljyn määrä on laskettu mallissa vuotta kohden.

Mallin keskeiset oletukset ovat:

- Malli käsittelee öljyonnettomuuksia Suomenlahdella maaliskuusta marraskuuhun. Jääpeitteisenä aikana öljyn keruutehokkuutta ja öljyn käyttäytymistä ei olemassa olevilla todennäköisyyksimallilla pystytä vielä arvioimaan.
- Mallissa tarkastellaan vain tankkerionnettomuuksista johtuvia lastitankkivuotoja; onnettomuustyyppit ovat alusten yhteentörmäykset ja karilleajot. Muiden alusten ja onnettomuustyyppien öljyvahingot eivät siis ole mukana.
- Vuodon sattuessa aloitetaan avomeritorjunta, johon osallistuu aina koko laivasto (tässä mallissa yhdeksän alusta ja päätöksestä riippuen uusi torjunta-alus). Alukset lähtevät liikkeelle omien lähtövalmiussääntöjensä mukaisesti. Esimerkiksi Merivoimilla on koko ajan ainakin yksi alus neljän tunnin lähtövalmiudessa.
- Avomereltä kerätty öljyjäte on vesi-öljyseosta, rannalta kerätty öljyjäte on maa-öljyseosta. Kaikki kerätty jäte varastoidaan ennen kuljetusta loppukäsittelyyn.
- Avomerien öljyntorjunnan kustannukset sisältävät lentotiedostelun, alusten käyttökustannukset torjunnan aikana ja jätteen varastointi-, kuljetus- ja loppukäsittelykustannukset.
- Öljyntyynyt ranta puhdistetaan käsin (20 %) ja koneellisesti (80 %), kustannuksia syntyy puhdistusvälineistöstä, henkilöstöstä ja jätteen varastoinnista, kuljetuksesta ja loppukäsittelystä. Rantapuhdistusta suorittaa 1 000 henkilöä, joista 700 työskentelee samaan aikaan.
- Lintujen tai muiden eläinten puhdistuksesta aiheutuvia kustannuksia ei ole huomioitu. Luontoon päässeän öljymäärän väheneminen lisää vähentämistoimenpiteistä saatavaa hyötyä ainoastaan ihmisten ilmaiseman maksuhalukkuuden kautta.
- Malli huomioi koko öljyntorjuntalaivaston ylläpitokustannukset, mutta ei sen pääomakustannuksia. Pääomakustannuksissa on huomioitu vain yhden uuden aluksen hankintakustannukset.

Tulosten perusteella malli suosittelee taloudellisesti perustellumpana ratkaisuna automaattista VTS-hälytysjärjestelmää. Mikäli kansalaisten maksuhalukkuuden katsotaan kuvaavan öljyntyymisen kaikkia taloudellisia vaikutuksia, öljyntorjuntalaivaston edelleen kasvattaminen ei ollut mallin mukaan kannattavaa.

Kun otetaan huomioon erityyppisten onnettomuuksien todennäköisyydet, VTS-hälytysjärjestelmän käyttöönoton vuotuinen hyöty on noin 0,2 miljoonaa euroa vuodessa. Vastahankitun Louhi-aluksen ollessa käytössä sen aiheuttama hyödyn odotusarvon lisäys on noin 0,22 miljoonaa euroa vuodessa, mutta sen aiheuttama kustannus on 1,89 miljoonaa euroa vuodessa; näin määriteltynä alus aiheuttaa vuodessa 1,67 miljoonan euron tappion. Tässä on huomioitu sekä aluksen hankintakustannus vuositasolla (hankintakustannus 48 milj. euroa, käyttöaika 30 vuotta), sen ylläpitokustannukset että mahdollisen onnettomuuden yhteydessä syntyvät käyttökustannukset. Aluksen öljyntorjunnalle aiheuttamat kustannukset saisivat siten olla enintään 0,22 miljoonaa euroa vuodessa, jotta sen käyttöönotto olisi kannattavaa. Tulos selittyi mm. sillä, että mallissa keruutehokkuus avomerellä on jo ilman Louhea varsin korkea, koska onnettomuuden sattuessa mallin oletusten mukaan paikalle lähetetään aina koko laivasto (huolimatta vuodon koosta) ja koska keskimääräisesti olosuhteet mahdollistavat myös vanhempien alusten tehokkaan käytön.

Uuden torjunta-aluksen käyttöönoton kannattamattomuuteen tällä tavoin laskettuna vaikuttaa oleellisesti myös suuren öljyonnettomuuden hyvin pieni todennäköisyys. Mallissa on otettu huomioon erikokoisten onnettomuuksien vuotuinen todennäköisyys, ja todennäköisintä on, ettei Suomenlahdella pääse vuoden aikana mereen yhtään öljyä alusten yhteentörmäysten tai karilleajojen seurauksena. Louhi on tällä hetkellä ainoa Suomen öljyntorjunta-alus, jonka on mahdollista kerätä öljyä aallonkorkeuden ollessa lähellä kahta metriä. Tämä ominaisuus on huomioitu, kun Louhen kannattavuutta on tarkasteltu. Louhen hankinnan kannattavuuteen vaikuttaa näiden olosuhteiden harvinaisuus.

Todennäköisyys sille, että öljyä päätyy tankkerionnettomuuden seurauksena mereen edes jonkun verran on vuodessa noin 19 %. Jos onnettomuus tapahtuu, se on todennäköisesti vuotomäärältään suhteellisen pieni, jolloin Louhen tuoma lisäys keruutehokkuuteen ei ole merkittävä. Todella suuren, yli 30 000 tonnin vuodon todennäköisyys on hyvin pieni. Vaikka yhteentörmäys tai karilleajo tapahtuisikin, näin suuren vuodon todennäköisyys on onnettomuuden yhteydessä tankkeriyhteentörmäyksissä noin 2,1 % ja karilleajossa noin 0,28 %. Analyysin mukaan yhteentörmäyksissä todennäköisyys sille, ettei vuotoa tule lainkaan on 73 %, ja karilleajoissa tämä todennäköisyys on 88 %. Yhteentörmäyksissä vuoto jää alle 5 000 tonniin todennäköisyydellä 15 % ja välille 5 000–30 000 tonnia todennäköisyydellä 10 %. Karilleajoissa alle 5 000 tonnin vuodon todennäköisyys on 9 % ja välille 5 000–30 000 tonnia osuvan onnettomuuden todennäköisyys on 2 %.

Suomen ympäristökeskus (SYKE) on varautunut avomeren öljyntorjuntakalustoa hankkiessaan suurimpaan ja pahimpaan todennäköiseen öljyonnettomuuteen Suomenlahdella, jonka on katsottu olevan 30 000 tonnia. Tällaisen onnettomuuden todennäköisyys on mallin mukaan erittäin pieni. Jos näin suuri onnettomuus kuitenkin tapahtuu, uusilla torjunta-aluksilla on todennäköisesti suuri merkitys vahinkojen minimoimisessa. Kysymykseen siitä, miten suureen öljyvahinkoon yhteiskunnan tulisi hankinnoillaan varautua, ei tiede pysty tarjoamaan yksiselitteistä vastausta, vaan kyseessä on viime kädessä poliittinen päätös.

Öljyntorjunta-analyysiin liittyvät varaumat

Kaikki mallit ovat aina yleistyksiä todellisesta tilanteesta, eikä missään mallissa voida ottaa huomioon kaikkia tekijöitä. Malli on kattavin toistaiseksi Suomen oloja kuvaava kustannus-hyötymalli, mutta seuraavat seikat tulee ottaa huomioon tuloksia tarkasteltaessa:

1. Louhi-aluksen tehtäviin kuuluu muutakin kuin öljyntorjunta, kuten esimerkiksi kemikaalionnettomuuksien torjunta, mutta tätä mallissa ei ole huomioitu kemikaalionnettomuuksiin liittyvän todennäköisyyspohjaisen tiedon puuttumisen ja tutkimusbudjetin koon takia. Mallissa on otettu koko Louhen hankintakustannus osaksi öljyntorjunnan kustannuksia, sillä sen hankinta rahoitettiin öljyntorjuntaan varatuista varoista. Tämä vastaa SYKE:n asiantuntijoiden käsitystä. Esimerkiksi puolustusvoimien tai rajavartiolaitoksen saamia hyötyjä ei ole tässä analyysissä voitu muuttaa rahaksi.
2. Automaattinen VTS-hälytysjärjestelmä on vasta prototyyppi, eikä sille ole olemassa vielä tarkkaa kustannusarviota, joten sen kustannusarvio sisältää paljon epävarmuutta. Hälytysjärjestelmän kustannuksiin tulee vaikuttamaan suuresti se, miten se lopulta toteutetaan. Tässä mallissa oletuksena oli, että kertaluonteinen hankintakustannus on välillä 30000–500 000 euroa. Kustannusarvion epävarmuuden huomioimisenkin jälkeen VTS-hälytysjärjestelmän käyttöönotto olisi kustannustehokkaampaa kuin öljyntorjunta. On tosin muistettava, että VTS-hälytysjärjestelmän ulottaminen kansainväliselle merialueelle ei ole suoraviivaista, mutta öljyntorjunta-aluksia voidaan jo nykyisin käyttää avustamaan muita maita.

Tapa, jolla kokonaishyöty öljyyntymättömästä rannasta arvioidaan, ei vaikuta siihen johtopäätökseen, että tarkasteltu onnettomuustodennäköisyyden pienentämisvaihtoehto on kustannustehokkaampi kuin öljyntorjunta. Siihen, lasketaanko uusi öljyntorjunta-alus kannattavaksi, se kuitenkin voi vaikuttaa. On toisaalta huomioitava, että vaikka tietämyksemme erillisten Suomenlahden luonnon osatekijöiden taloudellisesta arvosta olisi kattavampi, näitä tekijöitä ei voida suoraan lisätä nyt käytettyyn arvioon, koska ne ainakin osittain jo sisältyvät ihmisten ilmaisemaan maksuhalukkuuteen. Mallissa hyötyä kuvataan siis ainoastaan sen avulla, mikä on suomalaisten maksuhalukkuus öljyyntymättömästä rantaviivasta.



Janne Artell

Öljyonnettomuuden uhka on Itämerellä jokapäiväinen

4 Vieraslajien ennakotorjunnan ja jälkihoidon suunnittelu

Murtovesiin sopeutuvat vesistöjen vieraslajit uhkaavat Itämeren ekosysteemien toimintaa ja monimuotoisuutta ja voivat aiheuttaa monenlaista haittaa elinkeinoille ja kansalaisille. Suomen rannikoille ja aluevesille on saapunut 30 vieraslajia (Kansallinen vieraslajistrategia 2012), joista merkittävimpiä ovat merirokko, koukkuvesikirppu, liejuputkimadot ja valesinisimpukka, joiden kaikkien arvioidaan aiheuttavan joko runsautensa tai vaikutustensa takia haittaa elinympäristöille, ekosysteemin toiminnalle tai suoraan ihmisille.

Lisäksi on paljon lajeja, jotka voisivat menestyä Itämerellä ja joita muun muassa ilmastonmuutos voi auttaa, mutta jotka eivät vielä ole levinneet alueelle. Itämeren voimakkaasti kasvanut laivaliikenne on kasvattanut riskiä erityisesti useiden uusien lajien invaasioille. Yksi tärkeä vieraslajiryhmä ovat simpukat, jotka voivat siirtyä pitkiäkin matkoja laivojen pohjaan kiinnittyneinä tai toukkamuodossa laivojen painolastivesien mukana. Mikäli olosuhteet uudella alueella ovat otolliset, voi vieraslajisimpukka syrjäyttää alkuperäisen lajiston ja muuttaa peruuttamattomasti ekosysteemin toimintaa ja rakennetta. Vieraslajisimpukat voivat myös aiheuttaa taloudellisia vahinkoja tukkimalla teollisuus- ja voimalaitosten jäähdytysvesiputkia. Suuret simpukkakeskittymät voivat myös haitata rantojen virkistyskäyttöä. Simpukkakasvustoja voidaan torjua esim. klooripohjaisilla torjunta-aineilla, joista kuitenkin voi aiheutua terveydellistä haittaa lähiseudun asukkaille sekä ympäristövaikutuksia käsittelyn läheisillä merialueilla.

Yksi simpukoiden ja muiden vesiekosysteemien vieraslajien ominaispiirteistä on se, että kerran alueelle levinneestä lajista on hyvin vaikea päästä lopullisesti eroon. Tämän takia vieraslajien leviämisen estämiseen tulisi kiinnittää riittävästi huomiota maankäytön ja merien aluesuunnittelussa. Toisaalta, panostukset vieraslajien ennakotorjuntaan tulisi suhteuttaa mahdollisesta invaasiosta aiheutuviin haittoihin. Tämä edellyttää mahdollisten vieraslajien riskikartoituksia ja niihin liittyviä taloudellisia tarkasteluja.

Vieraslajien ennakotorjunnan ja jälkihoidon taloudellinen analyysi edellyttää kattavia riskikartoituksia mahdollisista vieraslajeista ja näiden odotetuista vaikutuksista. Tällaisia kattavia tarkasteluja ei ole toistaiseksi laadittu, joten tässä hankkeessa rajauduttiin tarkastelemaan vieraslajiriskiä tapaustutkimuksen avulla. Yksittäisten lajien ennakotorjuntaan ja jälkihoitoon varautumiseen sovellettiin liitteessä 11 esitettyä käsitelmää. Tutkimuksen ja siihen perustuvan matemaattisen optimointimallin yksityiskohdat ja tulokset on raportoitu julkaisuissa (Hyytiäinen ym. 2012a,b, Hyytiäinen & Lehtiniemi 2012).

Tapaustutkimuksessa tarkasteltiin Aasian simpukkaa (*Corbicula fluminea*), joka on nimensä mukaisesti kotoisin Aasiasta. Lajia siirrettiin 1900-luvun alkupuolella Pohjois-Amerikkaan, jossa se on levinnyt laajasti sekä sisävesiin että rannikkoalueille. Eurooppaan laji levisi 1980-luvulla Portugalin ja Espanjan jokien kautta ja on sittemmin edelleen levinnyt laajoille alueille Etelä ja Keski-Euroopassa. Simpukka sietää erilaisia suolaisuusoloja, mutta lajin leviämistä Itämerelle ovat hillinneet kylmät talvet. Aasian simpukka ei selviä hengissä, jos veden lämpötila laskee alle 2 C°.



Maiju Lehtiniemi

Merirokko on yksi merkittävistä Itämerelle saapuneista vieraslajeista

Suurten lämpövoimalaitosten jäähdytysvedet muodostavat useiden neliökilometrien laajuisia lauhdevesialueita, joilla meriveden lämpötila nousee useilla asteilla ympärivuotisesti ja pysyy jäättömänä myös kylmimpinä talvina. Nämä lauhdevesialueet tarjoavat mahdollisen leviämis- ja kasvualustan vieraslajeille, mahdollisesti myös Aasian simpukalle. Kohdealueeksi valittiin Fennovoima Oy:n harkitsema ydinvoimala ja sen lauhdevesialue Kemissä Ajoksen sataman läheisyydessä⁸. Ajoksen satamaan on säännöllistä reittiliikennettä Aasian simpukan saastuttamilta alueilta Etelä- ja Keski-Euroopasta. Laivaliikenne ja satama tarjoavat otollisen reitin, jonka kautta Aasian simpukka voi päästä leviämään toukkamuodossa lauhdevesialueelle.

Simpukkapopulaation kasvua kohdealueella kuvattiin ikäluokkamallilla, joka ennustaa vuosittain seuraavaan ikäluokkaan siirtyvien yksilöiden määrän, kuolleisuuden ja jälkeläismäärän. Aasian simpukan elinikä on maksimissaan 5 vuotta, ja se alkaa tuottaa suuria määriä jälkeläisiä toisesta elinvuodesta alkaen. Simpukan arvioitiin voivan kansoittaa ydinvoimalan lauhdevesialtaan 35 vuoden kuluessa alueelle tulon jälkeen.

Finnoffin ym. (2010) mukaan vieraslajeihin voidaan varautua pienentämällä invaasion todennäköisyyttä (preventive measures), pyrkimällä vieraslajikasvuston poistamiseen (eradication), kurissapitoon (control) tai siihen sopeutumiseen (adaptation). Aasian simpukka siirtyy alueilta toiselle laivojen painolastivesien mukana, ja yksi

⁸ Fennovoima päätti joulukuussa 2011 sijoittaa uuden ydinvoimalansa Pyhäjoelle Kemin asemasta. Vieraslajiriski Pyhäjoella on todennäköisesti Kemiä pienempi, koska voimalan lähellä ei ole syväsatamia.

tehokas keino invaasioriskin pienentämiseksi on painolastivesien kemiallinen käsittely. Mikäli laji on jo ehtinyt asettua alueelle, populaation kasvua voidaan yrittää hillitä peittämällä ja tukahduttamalla kasvustoja muovimatoilla. Ydinvoimalassa simpukkakasvuston haittoja voidaan torjua ennakolta käsittelemällä lauhdevesiputkia kemiallisesti. Toimenpiteet ovat sitä tehokkaimpia, mitä aikaisemmin toimenpiteisiin ryhdytään. Siksi yksi mahdollinen ennakoiva toimenpide onkin investoida veden ja rannan läheisen merenpohjan seurantaan ja mittauksiin jo ennen invaasiota.

Päätöksenteko-ongelma kuvattiin yhteiskunnan näkökulmasta. Tavoitteena oli minimoida eri talouden sektoreille ja kansalaisille vieraslajista ja siihen varautumisesta aiheutuvat kustannukset. Vieraslajin tuloon varautumisen hyödyt otetaan tässä laskelmassa huomioon pienentyneinä kustannuksina tulevaisuuden invaasioista. Aasian simpukan tuloon Kemin rannikkovesille kannatti varautua suunnittelemalla ennakkotorjuntaan ja jälkihoitoon suunnatut toimenpiteet siten, että toimenpiteiden ja haittojen yhteenlasketut, nykyhetkeen diskonttatut kustannukset olisivat mahdollisimman pienet. Vuotuiset kokonaiskustannukset C_t koostuivat seitsemästä osasta:

$$C_t = c1_t + c2_t + c3_t + c4_t + c5_t + c6_t + c7_t .$$

Neljä ensimmäistä kustannuserää liittyi mahdollisten toimenpiteiden kustannuksiin ja kolme viimeistä simpukkapopulaation voimayhtiölle ja lähiseudun asukkaille aiheuttamiin kustannuksiin (ks. taulukko 8).

Taulukko 8. Kustannustekijät

c1	Painolastivesien puhdistaminen
c2	Veden ja sedimenttien seuranta
c3	Simpukkakasvustojen poistaminen muovimatoin
c4	Ydinvoimalan jäähdytysputkien kemiallinen käsittely
c5	Kustannukset ydinvoimalan ylimääräisistä huoltokatkoista
c6	Haitta virkistyskäytölle
c7	Puhdistukseen käytetyistä kemikaaleista aiheutuvat terveyshaitat

Tuloksissa laskettiin päätössäännöt erilaisille simpukkapopulaation tasoille ja toimenpiteiden yksikkökustannuksille. Optimaaliset toimenpideyhdistelmät olivat loogisia, mutta ne olivat myös erittäin herkkiä oletuksille erilaisten toimenpiteiden yksikkökustannuksista ja vaikuttavuudesta. Tuloksista eriytyi kolme vaihtoehtoista toimintamallia:

1. *Sopeutuminen invaasion haittoihin:* Tässä toimintasuunnitelmassa investoidaan veden ja pohjasedimentin seurantaanäytteenottoon ennen invaasioita. Sitten kun invaasio tapahtuu ja se on havaittu, puhdistetaan ydinvoimalan lauhdevesiputkia ja vähennetään putkien tukkeutumisriskiä ja voimalan ylimääräisiä käyttökatkoja. Tässä toimintamallissa sopeudutaan vieraslajisimpukan tuloon mutta ei pyritä vähentämään invaasioriskiä tai rajoittamaan invaasion jälkeistä simpukkayhteisön kasvua.
2. *Invaasioriskin vähentäminen:* Tässä ohjelmassa asennetaan kaikkiin Ajoksen satamaan tuleviin laivoihin painolastivesien puhdistuslaitteisto ja vähennetään siten invaasion riskiä. Tällä toimintasuunnitelmalla lykätään vieraslajisimpukan odotettua saapumista alueelle.
3. *Kasvuston hillitseminen:* Tässä toimintasuunnitelmassa seurataan ympäristön tilaa ennen invaasiota ja pyritään rajoittamaan simpukkakasvuston kasvua aktiivisesti heti sen jälkeen, kun simpukkaa on havaittu alueella. Näin vähennetään samanaikaisesti odotettuja kustannuksia ydinvoimalalla että kustannuksia, joita aiheutuu lähistön asukkaille simpukkakasvustoista rannoilla.

Erilaiset toimintamallit johtivat selvästi toisistaan poikkeaviin tulevaisuudennäkymiin. Sopeutuvassa toimintamallissa Aasian simpukka saapuu hyvin suurella todennäköisyydellä alueelle lähivuosikymmeninä ja valtaa lauhdevesialtaan invaasiota seuraavan 30-40 vuoden kuluessa. Invaasioriskin vähentämiseen tähtäävässä mallissa invaasion todennäköisyys pienenee ja odotettua simpukan tuloa alueelle voidaan lykätä myöhemmäksi. Simpukka kuitenkin saapuu alueelle myöhemmin ja kansoittaa lauhdevesialueen mikäli voimalan käyttöä jatketaan. Kasvuston hillitsemiseen tähtäävässä mallissa invaasio tapahtuu lähivuosikymmeninä suurella todennäköisyydellä, mutta siitä aiheutuvat haitat säilyvät rajallisina.

Ensimmäinen toimintamalli oli optimaalinen, kun päätösongelma ratkaistiin oletusparametrein. Tätä ei kuitenkaan voida tulkita siten, että pelkkään sopeutumiseen perustuva toimintasuunnitelma olisi järkevä yleisemmin. Toimintasuunnitelma on hyvin herkkä oletuksille toimenpiteiden yksikkökustannuksista ja myös rahamääräiseksi muunnetuista arvioista vieraslajin aiheuttamista haitoista ja kustannuksista. Mallissa on myös monia epävarmuustekijöitä. Lähtökohtaisesti vieraslaji on uusi laji ympäristössään, eikä sen populaation kehityksestä ja erilaisten toimenpiteiden vaikuttavuudesta ole olemassa empiiristä mittaustietoa, johon laskelmat perustuvat. Vieraslajien tuloon varautuvat mallit ovat yhdistelmä muilta alueilta kerättyä tietoa ja asiantuntija-arvioita. Optimointitulokset ja niistä saatavat päätössäännöt olisivat tulkittava suhteessa mallien lähtötietoihin liittyviin epävarmuuksiin ja tiedon laatuun.

Laskemamme tulokset pätevät yhdelle tapausalueelle. Jotta saataisiin yleisempi ja totuudenmukaisempi kuva, laskelma olisi toistettava kaikille keskeisille vieraslajeille, kohdealueille ja toimenpideyhdistelmille. Monet toimenpiteet, kuten laivojen painolastivesien puhdistus vähentävät kerralla useiden mahdollisten vieraslajien levittäytymistä uusille alueille, ja siten näiden toimenpiteiden yhteiskunnallista kannattavuutta tulisi tarkastella kaikille lajeille ja vaikutuksille samanaikaisesti. Tulevissa laskelmissa tulisi myös kyetä ottamaan seikkaperäisemmin huomioon vieraslajien ekosysteemin toiminnalle aiheuttamat vaikutukset.



Maiju Lehtiniemi

Suomenkin rannikkovesiin levinnyt liejutaskurapu on alunperin kotoisin Pohjois-Amerikasta

5 Itämeren virkistyskäyttö

Tutkimushanke osallistui Suomen merenhoitosuunnitelman valmisteluun kuuluvaan meriympäristön nykytilan arvioon ja erityisesti sen sosioekonomiseen analyysiin Itämeren käyttömuodoista ja meren huonontuvasta tilasta aiheutuvista kustannuksista (Leppänen ym. 2012). Sosioekonomisen analyysin tarkoitus oli selvittää Itämerta hyödyntävien ja siihen painetta aiheuttavien toimialojen taloudellisia ja yhteiskunnallisia vaikutuksia. Itämerta hyödyntäviin toimialoihin kuuluvat esimerkiksi kalatalous ja meriliikenne. Ne ovat osa kaupallista toimintaa, jonka taloudellinen arvo voidaan määrittää markkinahintojen perusteella. Toisaalta Itämerta hyödynnetään myös virkistäytymistarkoituksessa esimerkiksi uiden ja veneillen. Virkistyskäytön taloudellisen arvon määrittäminen on haastavaa, vaikka sen merkitys voi olla suuri, koska sille ei ole olemassa markkinahintaa. Virkistyskäytön huomioiminen on kuitenkin tärkeää mahdollisimman kokonaisvaltaisen käsityksen saamiseksi meriympäristön tarjoamista ekosysteemipalveluista ja niiden merkityksestä kansalaisten hyvinvoinnille. Tässä kappaleessa tarkastellaan virkistyskäytön taloudellista arvoa Itämeren alueen kansalaisille virkistykseen käytettyjen kustannusten kautta.

Itämeren rannikkovaltioiden kulttuurien erilaisuus ja merenkäyttöön liittyvä historia vaikuttavat Itämeren käyttötapoihin ja siihen kohdistuviin asenteisiin. Kattavan tilastotiedon puuttuessa Itämeren virkistyskäyttöä kartoitettiin kyselytutkimuksella, joka toteutettiin puhelin- ja henkilökohtaisina haastatteluina kaikissa Itämeren rannikkovaltioissa loppukevään 2010 aikana (Söderqvist ym. 2010a,b, Ahtiainen ym. 2012a). Jokaisessa maassa haastateltiin noin 1000 ihmistä, ja otokseen valittiin satunnaisesti aikuisväestön edustajia koko maan alueelta. Venäjällä haastattelut kerättiin Itämeren lähistöltä eli Pietarin ja Kaliningradin alueilta. Kyselyssä selvitettiin muun muassa virkistyskäytön laajuutta ja tapoja, ja tarkemmin viimeisintä Itämerelle suuntautunutta virkistyskertaa. Itämeren virkistyskäytön arvoa arvioitiin matkakustannusmenetelmällä perustuen juuri tietoihin viimeisimmästä käyntikerrasta.

Itämeren virkistyskäyttö on laajaa, sillä noin puolet kyselyyn vastanneista oli virkistäytynyt Itämerellä viimeisen vuoden aikana ja yli 80 % vastanneista joskus elämänsä aikana (kuva 7). Ruotsalaiset ovat selvästi aktiivisimpia meren käyttäjiä, viettäen vapaa-aikaa Itämerellä keskimäärin yli 50 päivänä vuodessa. Myös suomalaiset ja tanskalaiset käyvät Itämerellä usein. Suomalaista vastaajista noin 60 % oli käynyt Itämerellä viimeisen vuoden aikana, ja viettänyt vapaa-aikaa merellä keskimäärin 35 päivänä vuodessa. Vähiten Itämerta käyttävät venäläiset ja saksalaiset, joista vain noin 25 % oli käynyt Itämerellä viimeisen vuoden aikana. Ehkä hieman yllättäen meriveden tilan ei yleisesti koettu haittaavan virkistyskäyttöä – vastaajista venäläiset, puolalaiset ja suomalaiset kokivat veden laadun rajoittavan Itämerellä virkistäytymistä eniten.

Yleisin vapaa-ajanviettotapa Itämerellä on rannalla oleilu, esimerkiksi kävellen tai aurinkoa ottaen. Muita suosittuja virkistyskäyttömuotoja ovat uiminen, veneily ja risteilyt. Myös suomalaiset käyttävät Itämerta monin tavoin. Lähes kaikki suomalaiset

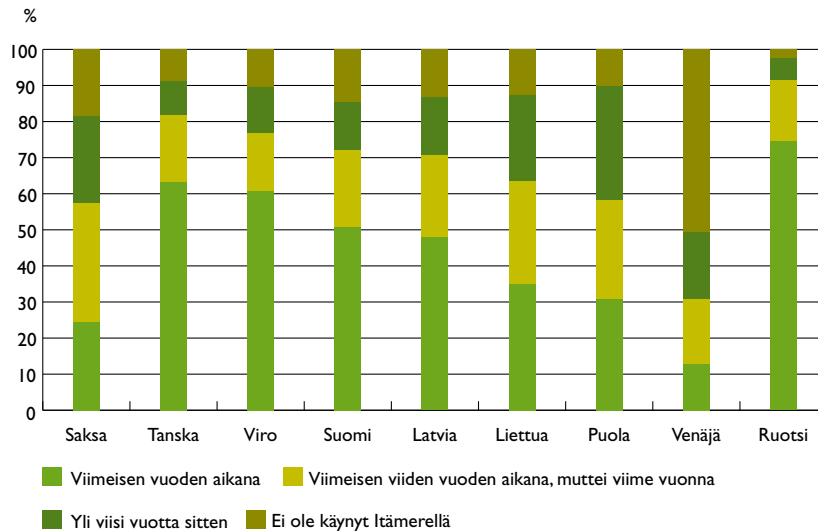


Janne Artell

Itämeri tarjoaa monenlaisia virkistysmahdollisuuksia, esimerkiksi leijalautailua

Itämerellä käyneet kertoivat oleskelevansa meren rannalla. Risteilyt ovat suosittuja, sillä noin kaksi kolmasosaa Itämerellä käyneistä suomalaisista vastaajista oli käynyt risteilyllä viimeisen vuoden aikana. Meriveteen ja sen laatuun suorassa yhteydessä olevat harrastustavat, kuten uiminen (lähes 50 %) ja veneily (yli 40 %), kuuluvat myös monien suomalaisten virkistystapoihin. Talviharrastuksista jäällä luistelu ja hiihto ovat yleisempiä kuin pilkkiminen. Virkistyspäiviä talviharrastuksiin kuluu kuitenkin kaikissa maissa keskimäärin vähemmän kuin kesäharrastuksiin.

Virkistyskäytön taloudellinen arvo kuvaa Itämeren käytöstä saatavaa hyötyä siellä virkistäytyville ihmisille, sisältäen kaikenlaiset virkistyskäyttötavat auringonotosta laivaristeilyihin. Virkistysarvo käsittää ainoastaan Itämeren todellisen virkistyskäytön, eikä ota huomioon esimerkiksi mahdollista tulevaa virkistyskäyttöä tai olemassaolo-arvoja eli ympäristön käytöstä riippumattomia hyötyjä. Määritetty arvo ei ota kantaa myöskään siihen, kuinka ympäristön laatu vaikuttaa virkistyskäytön tuottamaan hyötyyn, vaan kuvaa nykyisen virkistyskäytön arvoa. Sen perusteella ei siis voida arvioida, miten esimerkiksi tässä hankkeessa tarkastellut muutokset Itämeren tilassa vaikuttaisivat virkistyskäytön arvoon. On mahdollista, että virkistysarvo kasvaa ympäristön laadun ja muiden virkistysolosuhteisiin vaikuttavien tekijöiden parantuessa ja vähenee niiden heikentyessä. Virkistysarvo voidaan myös kääntäen tulkita siksi hyvinvoinnin laskuksi, joka aiheutuisi, jos Itämerellä virkistäytyminen ei olisi mahdollista.



Kuva 7. Vastaajan viimeisimmän Itämerikäynnin ajankohta

Itämeren virkistyskäytön arvo määritettiin taloudellisiin arvottamismenetelmiin kuuluvalla matkakustannusmenetelmällä (Haab & McConnell 2002, Freeman 2003). Matkakustannusmenetelmällä virkistyskäynnin arvo määritetään virkistyskäyntien määrän ja virkistäytymisalueelle matkustamisesta koituneiden kustannusten perusteella. Matkakustannusten ajatellaan kuvaavan virkistäytymisen hintaa, jonka perusteella voidaan määrittää virkistyskäynneille kysyntäkäyrä. Määritetyn kysyntäkäyrän perusteella lasketaan yhden käynnin tuottama kuluttajan ylijäämä eli yhden käynnin arvo. Virkistyskäytön kokonaisarvo lasketaan kertomalla käynnin arvo käyntien kokonaismäärällä. Matkakustannusmenetelmällä saadut arviot kuvaavat virkistyskäytöstä saadun hyödyn vähimmäismäärää, sillä arviot eivät huomioi muita kustannuksia kuin matkakustannukset.

Taulukossa 9 kuvataan Itämeren virkistyskäytön arvoa maittain. Virkistyskäytön arvo laskettiin kullekin maalle viimeisen vuoden aikana Itämerellä virkistäytymässä käyneen väestön osuuden, virkistyskäyntien määrän sekä käyntien arvon perusteella.

Koska Itämerelle tehdään hyvin erityyppisiä matkoja, virkistyskäynnit on jaettu lyhyisiin (kesto alle 24 tuntia) ja pitkiin (kesto yli 24 tuntia) matkoihin, joille määritettiin omat virkistysarvonsa. Kyselyaineiston perusteella on myös laskettu lyhyiden ja pitkien matkojen osuudet kaikista matkoista. Virkistysarvon määrittämiseksi matkakustannusten arvioitiin aiemman tutkimuksen perusteella olevan suomalaisille 0,16 €/km (Ovaskainen ym. 2012). Koska kustannukset vaihtelevat maittain, eikä maakohdaisia matkakustannustietoja ollut saatavilla, Suomen kustannus muunnettiin muille maille ostovoimapariteetin avulla⁹. Kullekin maalle laskettiin Itämeren virkistyskäytön kokonaisarvo kertomalla käyntikohtaiset arvot käyntien kokonaismäärällä ottaen huomioon pitkien ja lyhyiden matkojen osuudet matkoista. Virkistäytymiskertojen kokonaismäärät laskettiin kullekin maalle kertomalla maan Itämerellä virkistäytymässä käyneen väestön määrä käyntien määrän mediaanilla.

Tulosten perusteella Itämeren virkistyskäytön arvo on suurin Ruotsissa, Tanskassa ja Suomessa. Virkistysarvo on selvästi suurin Ruotsissa, jossa on myös suurin osallistumisosuus ja virkistyskäyntejä Itämerelle tehdään eniten. Ruotsissa pitkien matkojen

⁹ Ostovoimapariteetti on arvio valuutan vaihtokurssista, joka tarvitaan muuttamaan kahden maan valuuttakurssit ostovoimaltaan yhtä suuriksi. Jakamalla ostovoimapariteetti valuutan vaihtokurssilla saadaan indeksi, joka antaa kuvan, paljonko Suomessa esimerkiksi 100 euroa maksava hyödykekorin maksaa jossakin muussa maassa euroina. (Tilastokeskus 2012). Näissä laskemissa on käytetty Maailmanpankin indeksejä vuodelta 2011.

kertakohtainen arvo on huomattavasti muita maita korkeampi. Korkea kertakohtainen arvo kuvaa sitä, että maassa käydään usein Itämerellä virkistäytymässä ja sinne ollaan valmiita matkustamaan kaukaakin. Baltian maissa, joissa maiden väkiluvut ovat muita pienemmät ja myös virkistyskäyntien arvot ovat pienimmästä päästä, Itämeren virkistyskäytön kokonaisarvot ovat muita alhaisemmat. Yhteenlaskettuna Itämeren virkistyskäytön taloudellinen arvo on noin seitsemän miljardia.

Taulukko 9. Itämeren virkistyskäytön arvo maittain

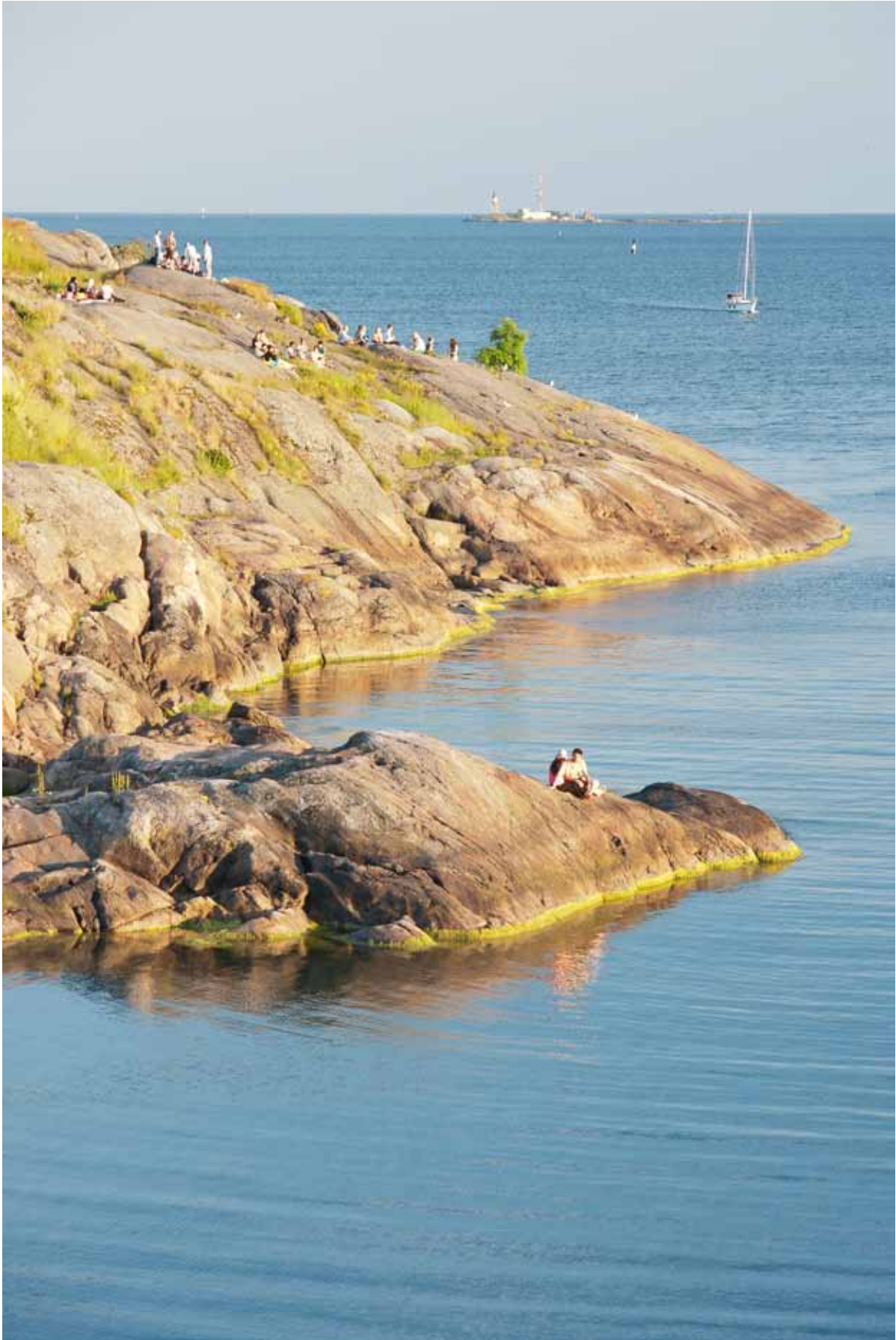
Maa	Osallistumis- osuus, %	Käyntikerrat, mediaani	Pitkien matkojen osuus, %	Lyhyiden matkojen osuus, %	Pitkien matkojen arvo, €/kerta	Lyhyiden matkojen arvo, €/kerta	Matkojen kokonaisarvo, milj. €/vuosi
Saksa	30	1	77	23	70,0	14,0	117
Tanska	69	7	39	61	56,2	28,0	747
Viro	68	6	69	31	21,7	4,8	67
Suomi	59	7	50	50	46,2	11,7	436
Liettua	40	1	77	23	27,0	8,9	23
Latvia	55	4	33	67	18,2	8,7	44
Puola	34	1	72	28	22,7	8,5	159
Venäjä	26	3	60	40	31,3	3,0	102
Ruotsi	76	10	39	61	155,8	17,2	4096

Tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että puuttuvien tietojen vuoksi matkakustannusmallien otoskoot ovat melko pienet huolimatta siitä, että kyselytutkimuksen otoskoko oli 1000 ihmistä jokaisessa maassa (taulukko 10). Pitkien matkojen mallissa Venäjän havaintojen määrä on 22 ja muiden maiden havaintomäärät vaihtelevat Latvian 52 havainnosta Tanskan 113 havaintoon. Lyhyiden matkojen mallissa havaintomäärät vaihtelevat Venäjän kahdeksasta ja Puolan ja Saksan 11 havainnosta Tanskan 148 havaintoon.

Lisäksi pienten havaintomäärien vuoksi pitkien matkojen malli ei tuottanut Venäjälle omaa tilastollisesti merkitsevää virkistysarvoa. Tämän vuoksi Venäjän pitkien matkojen virkistysarvo laskettiin yleisen mallin perusteella. Sillä laskettiin kaikille Itämeren maille yleinen virkistyskerran arvo, joka muunnettiin Venäjän arvoksi ostovoimapariteetin avulla. Sama koskee Puolaa lyhyiden matkojen osalta.

Taulukko 10. Havaintojen määrät maittain

Maa	Lyhyet matkat	Pitkät matkat
Saksa	11	65
Tanska	148	113
Viro	98	112
Suomi	68	96
Liettua	41	108
Latvia	113	52
Puola	11	94
Venäjä	8	22
Ruotsi	104	71



Janne Artell

Moni nauttii Itämerestä kuivin sukien rannalla, toiset viima kasvoillaan purjeveneessä

6 Johtopäätökset

6.1

Johtopäätöksiä ja suosituksia

Hankkeessa rakennettiin tutkimuksen työkaluja ja arvioitiin niiden avulla Itämeren ympäristöongelmien torjunnan hyötyjä ja kustannuksia. Lähestymiskulma oli ihmis-keskeinen: Itämeren tilan parantamiseksi tai riskien vähentämiseksi tehtäviä toimenpiteitä arvioitiin suhteessa niiden ihmisille tuottamiin hyötyihin ja kustannuksiin. Keskeisimmiksi uhiksi rajattiin kolme: rehevöityminen sekä lisääntyneen laivaliikenteen kasvattamat öljytuhojen ja vieraslaji-invaasioiden riskit. Analyysimenetelmien kehittäminen edellytti luonnontieteellisen ja taloustieteellisen asiantuntemuksen ja tietopohjan yhdistämistä. Tehtävään koottiin poikkitieteellinen tutkimusryhmä kolmesta tutkimusorganisaatiosta (MTT, SYKE ja Helsingin yliopisto).

Rehevöitymisen torjunta Itämerellä

Itämeren rehevöityminen on seurausta koko valuma-alueelta tulevasta ravinnekuormituksesta. Se on esimerkki kansainvälisestä ympäristöongelmasta, jonka tehokas ratkaisu edellyttää maiden välistä yhteistyötä. Näistä syistä rehevöitymisen kustannus-hyötyanalyysi ulotettiin kattamaan koko Itämeri ja sen rannikkovaltioiden valuma-alueet. Analyysissa yhdistettiin tietoa Itämeren tilan ja talouden sektorien tulevaisuuden kehityksestä, ravinnekuormituksesta, kuormitusvähennystoimenpiteiden vaikuttavuudesta ja kustannuksista sekä kansalaisten kokemista hyödyistä rehevöitymisen vähentämisestä. Analyysin kohteeksi valittiin HELCOMin Itämeren suojelun toimintaohjelma (BSAP), jonka tavoitteena on saavuttaa Itämeren hyvä ekologinen tila. Toimintaohjelmassa on asetettu kullekin maalle kuormitusvähennystavoite. Tarkasteltaviksi toimenpiteiksi valittiin kuluttajien siirtyminen fosfaatitomiin pesuaineisiin, jätevedenpuhdistuksen tehostaminen ja kuusi maatalouden toimenpidettä.

Tärkeimmät havainnot, johtopäätökset ja politiikkasuositukset rehevöitymisen torjuntaan liittyen ovat:

1. Itämeren rehevöitymisen vähentäminen on taloudellisesti kannattavaa, sillä Itämeren suojelun toimintaohjelman (BSAP) mukaisten kuormitusvähennysten yhteenlasketut hyödyt ylittävät toimenpiteiden kustannukset.
2. Kansalaiset ovat halukkaita lisäinvestointeihin Itämeren rehevöitymisen vähentämiseksi kaikissa Itämeren rannikkovaltioissa. Itämeren suojelun toimintaohjelman toteuttamisesta saatavat hyödyt ovat 4 miljardia euroa vuodessa. Suomalaisten kokema hyöty veden laadun paranemista on 200 miljoonaa euroa vuodessa.

3. Kustannustehokkaalla toimenpiteiden suunnittelulla eri talouden sektoreiden ja maiden välillä voidaan saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä ilman, että yhdenkään maan kustannustaakka kasvaisi merkittävästi.
4. Rehevöitymisen torjunnan hyödyt ja kustannukset jakautuvat epätasaisesti Itämeren rannikkovaltioiden kesken. Tiivis Itämeren valtioiden yhteistyö vesiensuojelussa ja kansainväliset rahoitusjärjestelyt edesauttavat sopimusten toteutumista ja todellisia parannuksia Itämeren tilassa.
5. Ihmiskeskeisestä näkökulmasta saadut tulokset taloudellisesti optimaalisesta vesiensuojelun tasosta ovat vertailukelpoisia ekologiseen näkökulmaan nojaavan Itämeren toimintaohjelman tavoitteiden kanssa. Kansalaisten kokemiin hyötyihin ja toimenpiteiden kustannuksiin perustuvan laskelman mukaan optimaalinen vesiensuojelun taso on hieman nykyistä Itämeren toimintaohjelmaa matalampi. Fosforin osalta taloudellisesti perustelluin kuormitusvähennys on noin kymmenyksen ja typen osalta 40 % nykyisen toimintaohjelman tasoa matalampi. Tätä tulosta tulkittaessa on kuitenkin otettava huomioon, että laskelmasta puuttuvat kuormitusvähennysten myönteiset vaikutukset sisävesien tilaan. Näiden huomiointi kasvattaisi sekä taloudellisesti perustelluinta kuormitusvähennysten tasoa että typen osuutta kuormitusvähennyksissä.
6. Kustannustehokkaat toimenpideyhdistelmät sisältävät jätevedenpuhdistukseen, maatalouteen ja pesuaineiden käyttöön liittyviä toimenpiteitä. Kunnalliseen jätevedenpuhdistukseen vielä kuulumattomien talouksien liittäminen verkostoon ja puhdistustehon lisääminen ovat tärkeimmät keinot fosforikuormituksen vähentämisessä etenkin Puolassa, Venäjällä ja Baltian maissa. Fosforilannoituksen käytön vähentäminen on taloudellisesti tehokas toimenpide etenkin niissä maissa, joissa fosforilannoituksen taso on historiallisesti ollut korkea. Typpilannoituksen vähentäminen peltoviljelyssä on tärkein typpikuormitusta vähentävä toimenpide.
7. Suomen kannalta tärkeimmät kuormituksen vähentämistoimenpiteet ovat typpi- ja fosforilannoituksen vähentäminen.
8. Suomen kuormitusvähennykset parantavat sisä- ja rannikkovesiemme tilaa, mutta vaikutus koko Itämeren tilaan on pieni. Suomalaisten etu on kaikki Itämeren rannikkovaltiot kattava ja kaikille maille kannattava sopimus kuormitusvähennyksistä Itämerellä.
9. Nykyinen tietopohja Itämeren kuormituksesta, meriekosysteemin prosesseista, Itämereen liittyvistä arvostuksista ja kuormitusvähennyksiin tähtäävien toimenpiteiden vaikuttavuudesta ja kustannuksista antaa kohtuulliset tiedolliset valmiudet ensimmäisten arvioiden tekoon rehevöitymisen torjunnan hyödyistä ja kustannuksista koko Itämeren tasolla. Laskentatuloksia voidaan myöhemmin tarkentaa korvaamalla laskentakehikon osia uusilla, tuoreimpiin tutkimustuloksiin perustuvilla osilla ja toistamalla laskelma uusin lähtötiedoin.

Onnettomuuksien ennaltaehkäisy ja öljyntorjunta

Meriliikenne Itämerellä on vilkasta. Yksi liikennöidyimmistä alueista on Suomenlahti, missä erityisesti öljykuljetukset ovat lisääntyneet viime vuosina huomattavasti. Tämä on samalla lisännyt öljyonnettomuuden riskiä. Suomenlahti on herkkä merialue, ja suurella öljyonnettomuudella voisi olla vakavat seuraukset. Jotta niiltä välttyttäisiin, tarvitaan sekä onnettomuuksia ennaltaehkäiseviä toimia että tehokasta öljyntorjuntaa.

Öljyonnettomuuden kustannus-hyötymalli rakennettiin käyttämällä päätösmalleja, joissa yhdistettiin mm. mallinnustuloksia, tilastotietoa ja asiantuntijoiden arvioita. Lisäksi arvioitiin maksuhalukkuuden määrää todennäköisyysmallin avulla, joka tuotti kustannus-hyötymalliin arvion öljyntorjunnan hyödyistä. Öljyonnettomuuden kustannus-hyötymallin avulla tarkasteltiin uuden mahdollisen automaattisen VTS-hälytysjärjestelmän ja uuden öljyntorjunta-aluksen käyttöönoton kannattavuutta hyödyn ja kustannusten näkökulmasta, kun otetaan huomioon epävarmuus onnettomuuksien ja niistä seuraavien vuotojen määrässä.

Tärkeimmät todennäköisyyspohjaisesta öljyntorjunnan kustannus-hyötymallista saadut johtopäätökset ovat:

1. Suomalaisten maksuhalukkuus öljyntorjunnan parantamiseksi Suomenlahdella ennen viimeaikaisia panostuksia oli kertamaksuna 112 miljoonaa euroa.

2. Seuraavat investoinnit kannattaa koko yhteiskunnan näkökulmasta suunnata ensisijaisesti ennakotorjuntaan (VTS-hälytysjärjestelmän käyttöönottoaminen). Ennaltaehkäisevien toimien etuna on aina myös ympäristölle aiheutuvien välillisten ja välittömien tappioiden välttäminen, ja siksi niihin panostaminen on tärkeää.
3. Uuden öljyntorjunta-aluksen käyttöönoton kustannukset ovat suuremmat kuin laskennalliset hyödyt, mutta tämä johtopäätös on täysin riippuvainen siitä, katsotaanko maksuhalukkuuden kuvaavan hyötyjä oikein. Tärkeää olisi jatkossakin arvioida, onko varojen käyttö ehdotettuihin ennaltaehkäisykeinoihin taloudellisesti perustellumpaa kuin varojen käyttö uuteen öljyntorjuntakapasiteettiin.
4. Öljyonnettomuuksiin varautumisen kustannusrakennetta suhteessa onnettomuusskenaarioiden todennäköisyyksiin tulisi tutkia lisää. Erityisesti on selvitettävä, kuinka paljon pahimpaan mahdolliseen öljyonnettomuuteen varautuminen maksaa suhteessa todennäköisempiin pienempiin onnettomuuksiin. Myös tässä tutkimuksessa korkeaksi arvioitua öljyntorjunta-alusten keruutehokkuutta tulisi arvioida yksityiskohtaisemmillä malleilla.

Vieraslajit

Itämeren voimakkaasti kasvanut laivaliikenne ja uudet satamat ovat kasvattaneet riskiä useiden uusien lajien invaasiolle alueella. Vieraslajien ekologiset ja taloudelliset vaikutukset uudella elinalueella ovat usein arvaamattomia. Joidenkin lajien leviämisen ja selviämismahdollisuuksia ja haittoja voidaan kuitenkin arvioida muilta alueilta saatujen kokemusten perusteella. Hankkeessa rakennettiin laskentamalli yksittäisten lajien vaikutusten arvioimiseksi ja taloudellisesti tehokkaiden toimenpideyhdistelmien määrittämiseksi ennen invaasiota ja invaasion jälkeen. Tarkasteltavaksi lajiksi valittiin Aasian simpukka ja kohdealueeksi suunnitellun ydinvoimalan lauhdevesi-alue Perämerellä. Laskelmista saadut johtopäätökset ovat:

1. Taloudellisesti perustelluin toimintasuunnitelma on herkkä muutoksille monissa toimenpiteiden kustannuksiin ja vaikutuksiin liittyvissä oletuksissa. Herkkyysanalyysin tuloksista eriytyi kolme vaihtoehtoista toimintamallia: (1) Invaasion haittoihin sopeutuminen keskittymällä simpukkapopulaation haittojen vähentämiseen teollisuudelle, (2) Invaasioriskin vähentäminen, jossa alueelle saapuvien laivojen painolastivesiä puhdistamalla estetään simpukkaa leviämistä, ja (3) kasvuston hillitseminen, jossa ympäristön tilaa tarkkailemalla ja kasvustoja hävittämällä pyritään pitämään populaatio aisoissa. Sopeutuminen osoittautui edullisimmaksi toimintamalliksi yksittäisen lajin invaasioon rajatulla alueella, kun laskelma tehtiin todennäköisimmillä oletuksilla.
2. Yleisemmässä katsannossa laivojen painolastivesien puhdistaminen on hyvin tehokas toimenpide, jos se toteutetaan kansainvälisesti ja sen avulla vaikutetaan kaikkien painolastivesien avulla leviävien lajien kulkeutumiseen alueelta toiselle.
3. Nykyistä kattavammat vieraslajien riskikartoitukset ja niihin liittyvät taloudelliset tarkastelut ovat tarpeen energiasektorin kannattavuustarkasteluissa, ympäristövaikutusten arvioinnissa ja rakennuslupamenettelyssä sekä maankäytön ja merien aluesuunnittelussa. Suuria määriä lauhdevesiä käyttävien voimaloiden sijaintia suunniteltaessa tulisi ottaa huomioon rakennuspaikan vaikutus invaasioriskiin. Vieraslajiriski on suurimmillaan, jos lauhdevesialtaat sijaitsevat lähellä syväsatamia, asutusta tai laivareittejä.
4. Kasvanut vieraslaji-invaasioiden riski on merkittävä negatiivinen ulkoisvaikutus etenkin suurille hiilivoimaloille ja ydinvoimaloille. Tämä ulkoisvaikutus vähentää näiden voimalatyyppien yhteiskunnallista kannattavuutta suhteessa muihin energiamuotoihin. Tämä ulkoisvaikutus tulisi kyetä suhteuttamaan energiasektorin hankkeiden muiden kustannusten kanssa ja huomioimaan, kun eri energiamuotojen etuja ja haittoja arvioidaan tulevaisuuden energiasuuntauksia tehtäessä.
5. Vieraslajit vaikuttavat runsastuessaan ympäröivän ekosysteemin toimintaan ja voivat heikentää ekosysteemipalveluita ja niiden arvoa. Nämä seikat tulisi ottaa huomioon aikaisempaa kattavammin tulevaisuuden taloudellisissa arvioissa vieraslajien vaikutuksista.

Itämeren virkistyskäyttö

Itämerä käytetään moneen tarkoitukseen ja siihen liittyy erilaisia arvostuksia. Mahdollisuus virkistäytymiseen on yksi tärkeä Itämeren tarjoama ekosysteemipalvelu. Virkistyskäytön arvoa voidaan arvioida kansalaisten virkistysalueelle matkustamiseen käyttämän rahamäärän perusteella.

Keskeisimmät havainnot Itämeren virkistyskäytöstä ovat:

1. Kaikissa Itämeren maissa tehty kyselytutkimus osoitti Itämeren virkistyskäytön olevan laajaa ja sen arvon olevan merkittävä. Noin puolet kyselyyn vastanneista oli virkistäytynyt Itämerellä viimeisen vuoden aikana ja 80 prosenttia joskus elämänsä aikana.
2. Itämeren virkistyskäytön arvon arvioitiin olevan noin 7 miljardia euroa vuodessa. Ruotsalaisten osuus Itämeren virkistyskäytöstä ja sen arvosta on selvästi korkein.
3. Suomessa Itämerellä virkistäytymiseen käytetään ainakin noin 400 miljoonaa euroa vuodessa.

6.2

Miten laskelmatulosten epävarmuuksiin tulisi suhtautua?

Kustannus-hyötyanalyysissä tiivistetään suuri määrä luonnontieteellistä ja taloustieteellistä tutkimustietoa yhdeksi arvioitavan toimintasuunnitelman kannattavuutta kuvaavaksi tunnusluvuksi tai jakaumaksi. Tämä laskentatuloks tulisi aina tulkita suhteessa puutteisiin, yksinkertaistuksiin ja epävarmuuksiin mallien taustalla olevissa koejärjestelyissä ja niiden yleistettävyydessä sekä luonnonprosessien ja talouden vuorovaikutusten tuntemuksessamme. Numeeristen optimointilaskelmien luotettavuuteen vaikuttavat muun muassa mittausvirheet empiirisessä aineistossa, tiedon puutteet, mallien valintaan liittyvät epävarmuudet ja vielä tunnistamattomista lähteistä aiheutuvat epävarmuudet. Virheet usein kertautuvat dynaamisissa malleissa ja useita osioita tai monimutkaisia vasteita sisältävissä mallikehikoissa. Tiedon tuottajan ja käyttäjän yhteinen haastava tehtävä on arvioida tulosten sovellettavuutta ja luotettavuutta suhteessa näihin puutteisiin ja oletuksiin.

Optimointimallien herkkyyksianalyysissä muutetaan mallin oletuksia yksi kerrallaan ja tarkastellaan miten tämä muutos vaikuttaa parhaaseen toimintasuunnitelmaan. Herkkyyksianalyysi on hyvä menetelmä analysoitaessa miten herkkiä tuloksista saatavat johtopäätökset ovat erisuuruksille muutoksille mallin eri parametreissa. Menetelmää sovellettiin tässä hankkeessa vieraslajien torjuntaan (ks. luku 4) ja rehevöitymisen torjunnan kustannus-hyötyanalyysiin liittyvissä tutkimuksissa (ks. luku 2). Rehevöitymisen torjunnan kustannustehokkaat toimenpideyhdistelmät osoittautuivat herkiksi yksittäisten toimenpiteiden vaikuttavuus- ja kustannusarvioille. Pienet muutokset optimoiduissa toimenpidesuunnitelmissa eivät kuitenkaan merkittävästi muuttaneet kokonaiskustannusten tasoa eivätkä heilauttaneet johtopäätöstä Itämeren suojelun toimintaohjelman kannattavuudesta (ks. taulukko 5). Edullisimpien toimenpiteiden soveltamismahdollisuuksien heikkeneminen voi kuitenkin kasvattaa kokonaiskustannuksia merkittävästi etenkin niillä valuma-alueilla, joissa maapinta-alaa ja väkilukua kohti lasketut kuormitusvähennystavoitteet ovat korkeimmat. Näillä alueilla sovelletaan samanaikaisesti monia toimenpiteitä, ja vähennykset edullisten toimenpiteiden toteutusmahdollisuuksissa ohjaavat valintaa kalliimpiin toimenpiteisiin. Meren hyvän tilan saavuttamisen kustannukset kasvavat, mikäli Itämeren ravinnekuormitus lisääntyy jonkun ennakoimattoman kriisin tai epävakaa yhteiskunnallisen kehityksen seurauksena Itämeren alueella. Tässä

tilanteessa sekä kuormituksen perusura että hyötyarvio tulee päivittää ja kustannus-hyötylaskelma toistaa uusin lähtötiedoin.

Toinen suoraviivainen tapa arvioida yksittäisten laskelmatulosten luotettavuutta on vertailla niitä muiden vastaavien laskelmien tuloksiin. Tästä esimerkkinä rehevöitymisen kustannushyöty-analyysiä varten rakennettiin uusi allastason merimalli, jonka ennustekykä arvioitiin vertaamalla sen ennusteita toisen vastaavan, vakiintuneemman mallin (Sanbalts) antamiin ennusteisiin (ks. liitekuva A4). Kahden mallin samansuuntaiset ennusteet eivät takaa ennusteen oikeellisuutta, sillä vertailtavat mallit voivat sisältää samoja virheellisiä oletuksia. Yhdenmukaiset ennusteet kuitenkin osoittivat mallin ennustavan johdonmukaisesti kuormitusvähennysten vaikutukset meriekosysteemeissä. Myös hyötyarvioita rehevöitymisen vähentämisestä verrattiin 1990-luvun puolivälissä tehdyssä arvottamistutkimuksessa saatuihin tuloksiin (ks. kappale 2.1). Koko Itämeren tasolla hyötyarviot olivat samaa suuruusluokkaa.

Kolmas tapa arvioida mallin toiminnan johdonmukaisuutta on mallilaskelmien toistaminen uusilla lähtötiedoilla tai korvaamalla malliosioita vaihtoehtoisilla. Laajojen mallien kehittäminen onkin usein pitkäkestoista ja edellyttää mallin kehityksen ja soveltamisen toistamista. Tässä hankkeessa kehitetyt mallikehikot Itämeren ympäristöongelmien analyysiin on myös rakennettu siten, että niiden osia voidaan korvata uusilla ja laskelma voidaan toistaa, kun uutta laadukkaampaa tietoa tulee saataville.

Neljäs tapa olettaa kaikille estimoitaville parametreille todennäköisyysjakaumat ja laskee parametreissa olevat epävarmuudet aineiston ja aiemmin käytössä olleen tiedon (ns. prioritieto) avulla. Tällöin puhutaan todennäköisyys tai ns. bayeslaskennasta. Sitä sovellettiin öljyvahinkojen analyysissä. Käytännössä eri parametrien arvoja ei tunneta täsmällisesti, mutta niille on mahdollista asettaa perusteltuja arvioita todennäköisimmästä arvosta sekä ylä- ja/tai alarajoista. Nämä arviot voidaan saada muista julkaisuista tai asiantuntijatiedosta. Kun aiempaan tietämykseen liitetään uudesta aineistosta saatava tietämys ja tarjotaan tämä ns. posteriorijakauma tulevaisuuden tutkimusten ennakkotiedoksi eli priorijakaumaksi, luodaan tieteelle myös tehokkaampia oppimisjärjestelmiä.

6.3

Sovellukset

Hankkeessa rakennettuja tutkimuksen työkaluja ja tutkimusten tuloksia voidaan käyttää soveltuvin osin apuna kansallisessa ja kansainvälisessä maatalous-, ympäristö-, liikenne- ja energiapolitiikan suunnittelussa ja arvioinnissa. Toistaiseksi hankkeen tuloksia on hyödynnetty meristrategiadirektiivin toteutukseen liittyvässä meriympäristön nykytilan arviossa (Leppänen ym. 2012), jonka sosio-ekonomiseen analyysiin hanke osallistui. Tulokset ja mallit rehevöitymisen torjunnan hyödyistä ja kustannuksista ovat myös käytettävissä Suomen ja muiden Itämeren maiden merenhoitosuunnitelmien suunnittelussa. Toinen mahdollinen sovelluskohde liittyy vesipuite- ja meristrategiadirektiivien mukaisten toimenpideohjelmien yhteensovittamiseen. Vesipuitedirektiivi tähtää sisä- ja rannikkovesien tilan parantamiseen ja meristrategiadirektiivi merialueiden tilan kohentamiseen. Ravinnekuormituksen vähentäminen valuma-alueella edistää molempien tavoitteiden saavuttamista. Lisäksi tuloksia voidaan soveltaa EU:n biodiversiteettistrategian edellyttämään arvioon Itämeren ekosysteemipalveluista.

Öljyntorjunnan ja onnettomuuksien ennaltaehkäisyn keskinäistä tehokkuutta vertaileva, todennäköisyyspohjainen hyöty-kustannusmalli antaa suoraan vastauksia ennaltaehkäisevien toimenpiteiden ja öljyntorjuntaa tehostavien toimenpiteiden välisistä suhteista. Vaikka mallissa arvioitiin vain yhtä mahdollista ennaltaehkäise-

vää toimenpidettä, siihen on varsin helposti kytkettävissä sellaista lisätietoa, jonka avulla voitaisiin arvioida muiden onnettomuuksiin vaikuttavien toimenpiteiden kannattavuutta. Menetelmällinen lähestymistapa luo pohjan sellaisille kustannus-hyötytarkasteluille, joissa on paljon epävarmuutta ja/tai joissa varaudutaan pienellä todennäköisyydellä tapahtuviin laajamittaisiin tappioihin.

Vieraslajin taloudellisista vaikutuksista ja toimenpiteistä voidaan yleistää myös muille meriekosysteemin lajeille, mikäli lajin ennakoidusta leviämisestä ja sen torjunnan kustannuksista ja toimenpiteiden vaikuttavuudesta on riittävästi tietoa käytettävissä.

HELCOM käsitteli PROBAPS-hankkeen ja muiden BalticSTERN hankkeiden tuloksia eri työryhmiensä kokouksissa vuonna 2012. Hankkeen tuotokset ovat käytettävissä HELCOMin työssä Itämeren toimintaohjelman jatkopäivityksiä ja tarkennuksia tehtäessä.

6.4

Tutkimustarpeet

Itämeren ympäristöongelmien arviointia varten on olemassa merkittävä tietopohja ja tutkimustiedon analyysi antaa mahdollisuuksia toimenpidesuosituksen tekoon. Monilta osin tieto on kuitenkin puutteellista tai vanhentunutta. Itämeren ympäristöongelmien osalta keskeisiä tutkimustarpeita ovat seuraavat:

- Tässä hankkeessa tarkasteltiin kolmea keskeistä Itämeren uhkaa (rehevöityminen, öljytuhot, vieraslajit) erillisinä yksinkertaistettuina kysymyksinä. Yhdessä hankkeen julkaisussa (Hyytiäinen ja Huhtala 2012) tarkasteltiin kahden uhan: öljytuhojen ja rehevöitymisen yhteisvaikutuksia Suomenlahden virkistyskäytön arvoon. Laskentatulosten mukaan eri uhilla voi olla yhteisvaikutuksia, jotka vaikuttavat myös toimenpiteiden mitoittamiseen ja suuntaamiseen. Tärkeä tutkimuskohde olisi pyrkiä kuvaamaan eri ympäristöongelmien yhteisvaikutusta Itämerellä ja suunnittelemaan niiden vähentämiseksi tähtäävien toimenpiteet koordinoitusti.
- Öljyntorjunnan ja ennaltaehkäisyn välisen suhteen arvioinnin kannalta on oleellista parantaa sekä karille ajon että yhteentörmäysten todennäköisyysarvioita, ja myös erikokoisten vuotojen todennäköisyyksiä. Tulevaisuudessa olisikin tärkeää tarkastella laaja-alaisemmin onnettomuudesta aiheutuvia taloudellisia vaikutuksia, niiden kohdistumista eri osapuolille ja luonnolle koituvia tappioita, joita ei kukaan voi täysin korvata. Tarkasteluun tulisi ottaa mukaan myös Venäjä ja Viro ja mahdollisen öljyonnettomuuden niille aiheuttamat kustannukset ja toisaalta ennaltaehkäisystä ja torjunnasta saatavat hyödyt. Öljyonnettomuuden vaikutukset ja esimerkiksi rantojen puhdistuskustannukset ovat näissä maissa erilaiset kuin Suomessa, ja myös näiden maiden kansalaisten maksuhalukkuus puhtaasta rannikosta lienee erilainen (vrt. maksuhalukkuus rehevöitymisen torjunnasta, luku 2.1).
- Tässä hankkeessa tarkasteltiin Itämeren tilassa ja taloudessa tapahtuvia muutoksia enimmillään 40 vuoden päähän. Aikajänteen ulottaminen kauemmaksi tulevaisuuteen on kuitenkin perusteltua sellaisten ilmiöiden ja uhkien suhteen, joiden ennakoidaan tapahtuvan tätä pidemmällä aikavälillä mutta joihin voidaan vaikuttaa jo nyt tehtävillä toimenpiteillä. Yli 40-vuoden katsannot edellyttävät myös ilmastonmuutoksen vaikutusten arvioimista ja huomioimista malleissa.

- Laskennallisesti parhaat toimenpideyhdistelmät ovat ehdollisia käytettävissä olevien toimenpiteiden lukumäärälle ja oletuksille niiden vaikutuksista ja kustannuksista. Seikkaperäisempää tietoa vaikuttavuuden ja kustannusten ajallisesta ja paikallisesta vaihtelusta tarvitaan parempien toimenpideohjelmien suunnitteluun. Lisää tietoa tarvitaan typpilaskeuman vähentämisen mahdollisuuksista ja kustannuksista sekä metsätaloudessa tehtävien toimenpiteitten (esim. hakkuutavat) vesistövaikutuksista. Myös paikallisesti tarkkapiirteisemmät tarkastelut osana Itämeren suojelua (esim. Saaristomeren tilan parantaminen) ovat tarpeen.
- Itämeren suojelupäätöksen pohjaksi tarvitaan nykyistä selkeämpi käsitys Itämeren eri ekosysteemipalveluista, luonnontieteellisistä prosesseista, jotka näitä palveluita tuottavat, ekosysteemipalveluiden alueellisesta jakautumisesta ja merkityksestä kansalaisille ja elinkeinoille.

KIIITOKSET

Tämä työ on toteutettu osana kansainvälistä BalticSTERN-tutkimusverkostoa. Haluamme kiittää BalticSTERN-sihteeristössä työskenteleviä Siv Ericssonia, Henrik Scharinia, Kerstin Blyhiä, Marmar Nekoroa ja Cornelia Ludwigia yhteyksien luomisesta, kannustuksesta ja miellyttävästä yhteistyöstä hankkeen eri vaiheissa. BalticSTERN-verkoston ohjausryhmää luotsasi Johan Rockström ja suomalaisen ohjausryhmän puheenjohtajana toimi Eeva-Liisa Poutanen. Olemme kiitollisia molemmille ohjausryhmille lukuisista keskusteluista, palautteesta ja rakentavasta kritiikistä.

Loppuraportin kirjoittajien lisäksi yhteistyöhön on osallistunut suuri joukko tutkijoita useista tutkimuslaitoksista Itämeren eri maissa. Haluamme ilmaista kiitoksemme erityisesti seuraaville henkilöille: Mohammed Alemu, Daija Angeli, Mikołaj Czajkowski, Heli Haapasaari, Berit Hasler, Linus Hasselström, Aljona Karlöseva, Lauri Kettunen, Yulia Khaleeva, Sempo Knuuttila, Päivi Korpinen, Juha-Markku Leppänen, Samu Mäntyniemi, Tuomas Martikainen, Louise Martinsen, Jürgen Meyerhoff, Kai Myrberg, Jarkko K. Niemi, Tea Nömmann, Oleg Savchuk, Ieva Oskolokaite, Kristine Pakalniete, Yulia Pavlova, Mika Rahikainen, Olga Rastrigina, Joona Salojärvi, Daiva Semenienė, James Smart, Tore Söderqvist, Åsa Soutukorva, Kimmo Tikka, Heidi Tuhkanen, Kerry Turner, Alf Vanags, Jarno Vanhatalo, Markku Viitasalo, Natalia Volchkova, Aart de Zeeuw, Katrin Zimmer ja Tomasz Zylicz.

Lopuksi lämpimät kiitokset hankkeen primus motorille Anni Huhtalalle, joka koordinoi hanketta sen alusta toukokuuhun 2011 ennen siirtymistään uusiin tehtäviin ja jonka asiantuntemukseen ja näkemykseen työmme on nojannut.

- Tähdellä merkityt julkaisut ovat hankkeessa tuotettuja.
- Agmemod Partnership, 2010, <http://www.tnet.teagasc.ie/agmemod/> , viewed 30.3.2010
- *Ahlvik, L. & Hyytiäinen, K. 2012. Dynamic modelling framework for analyzing cost-effective nutrient abatement in the Baltic Sea. (Article in preparation)
- *Ahlvik, L. & Pavlova, Y. 2012. International Environmental Agreement on nutrient load abatement: Baltic Sea case. (submitted manuscript)
- *Ahlvik, L., Pitkänen, H., Ekholm, P. & Hyytiäinen, K., 2012. An economic-ecological modeling framework to evaluate the impacts of nutrient abatement measures in the Baltic Sea. 27 p. (Submitted manuscript)
- Ahtiainen, H. 2007. The willingness to pay for reducing the harm from future oil spills in the Gulf of Finland: an application of the contingent valuation method. Discussion Papers n:o 18, University of Helsinki, Department of Economics and Management, Environmental Economics.
- *Ahtiainen, H. 2012. The value of reducing eutrophication in European marine areas — A Bayesian meta-analysis. *Ecological Economics* 83:1-10.
- *Ahtiainen, H., Artell, J., Czajkowski, M., Hasler, B., Hasselström, L., Hyytiäinen, K., Meyerhoff, J., Smart, J., Söderqvist, T., & Zimmer, K., 2012a. Public preferences regarding use and condition of the Baltic Sea – an international comparison informing marine policy. (Article in preparation)
- *Ahtiainen, H., Hasselström, L., Artell, J., Angeli, D., Czajkowski, M., Meyerhoff, J., Alemu, M., Dahlbo, K., Fleming-Lehtinen, V., Hasler, B., Hyytiäinen, K., Karlöseva, A., Khaleeva, Y., Maar, M., Martinsen, L., Nömmann, T., Oskolokaite, I., Pakalniute, K., Semenienė, D., Smart, J., & Söderqvist, T. 2012b. Benefits of meeting the Baltic Sea nutrient reduction targets—Combining ecological modelling and contingent valuation in the nine littoral states. MTT Discussion Papers 1/2012. www.mtt.fi/dp/DP2012_1.pdf
- *Ahtiainen, H., Artell, J., Blyh, K., Ericsson, S., Hasselström, L., Hasler, B., Hyytiäinen, K., Rockström, J., & Söderqvist, T. 2012c. Invånarna runt Östersjön villiga betala för bättre havsmiljö. Svenska Dagbladet. 2.7.2012. Opinion. http://www.svd.se/opinion/brannpunkt/invanarna-runt-ostersjon-villiga-betala-for-battre-havsmiljo_7315549.svd#
- Alberini, A. & Kahn, J. R. (toim.) 2006. Handbook on Contingent Valuation. Edward Elgar Publishing Limited, UK.
- Andersen, J. H., Axe, P., Backer, H., Carstensen, J., Claussen, U., Fleming-Lehtinen, V., Järvinen, M., Kaartokallio, H., Knuuttila, S., Korpinen, S., Kubiliute, A., Laamanen, M., Lysiak-Pastuszak, E., Martin, G., Murray, C., Möhlenberg, F., Nausch, G., Norkko, A. & Villnäs, A. 2011. Getting the measure of eutrophication in the Baltic Sea: towards improved assessment principles and methods. *Biogeochemistry* 106, 137-156.
- Baltic Nest. 2012. The Nest Decision Support System. Baltic Nest Institute. <http://nest.su.se/>
- BalticStern, 2012. BalticStern—Underlying synthesis report. (Report in preparation)
- Bateman, I., Brouwer, R., Ferreri, S., Shaafsma, M., Barton, D.N., Dubgaard, A., Hasler, B., Hime, S., Liekens, I., Navrud, S., De Nocker, L., Sceponaviciute, R., & Semenienė, D. 2011. Making Benefit Transfers Work: Deriving and Testing Principles for Value Transfers for Similar and Dissimilar Sites Using a Case Study of the Non-Market Benefits of Water Quality Improvements Across Europe. *Environmental and Resource Economics*. 50(3): 365-387.
- Bianchi, T.S., E. Engelhaupt, P. Westman, T. Andrén, C. Rolff & R. Elmgren. 2000. Cyanobacterial blooms in the Baltic Sea: Natural or human-induced? *Limnol. Oceanogr.* 45: 716-726.
- Boardman, A.E., Greenberg, D.H., Vining, A.R., & Weimer, D.L. 2006. Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice, 3rd Edition. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Bromley, J., N. Jackson, O. Clymer, A. Giacomello & F. Jensen. 2005. The use of Hugin to develop Bayesian networks as an aid to integrated water resource planning. *Environmental Modeling & Software* 20/2005, 231–242.
- Bäckman, S. & Lansink, A.O., 2005. Crop and soil specific N and P efficiency and productivity in Finland. *Agricultural and Food Science* 14, 264-276.

- Carson, R. & Hanemann, M. 2005. Contingent Valuation. Teoksessa Mäler K.G, Vincent, J.R. (toim.) 2005. Handbook of Environmental Economics: Valuing Environmental Changes, Volume 2. North Holland.
- COWI, 2007. Economic analysis of the BSAP with focus on eutrophication, final report
- Champ P.A., Boyle K.J. & Brown T.C. (toim.) 2003. A Primer on Nonmarket Valuation. Kluwer Academic Publishers. 576 pages.
- *Dahlbo, K., Tuomi, L., Pitkänen, H., Inkala, A., Maar, M., Ahlvik, L., Fleming-Lehtinen, V., Ahtiainen, H. & Heiskanen, A.-S. 2012. Scenarios of nutrient reduction impacts for communicating on eutrophication of the Baltic Sea. (Article in preparation).
- Dillman, D., Smyth, J. & Christian, L., 2009. Internet, Mail and Mixed-Mode Surveys: The Tailored Design Method, 3rd edition. John Wiley: Hoboken, New Jersey. 499 pp.
- Duarte, C.M., Conley, D.J., Carstensen, J. & Sanchez-Camacho, M. 2009. Return to Neverland: Shifting Baselines Affect Eutrophication Restoration Targets. *Estuaries and Coasts* 32, 29-36.
- Elmgren, R. & U. Larsson. 2001. Eutrophication in the Baltic Sea area: Integrated coastal management issues. *Teoksessa*: von Bodungen, B., ja R.K. Turner (toim.) Science and Integrated Coastal Management. Dahlem University Press.
- EEA, 2007. Fertilizer consumption – outlook from EEA. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/fertilizer-consumption-outlook-from-eea/fertilizer-consumption-outlook-from-eea>
- Europa Rapid, 2012. Population projections 2008-2060. <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=STAT/08/119&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>
- EUROSTAT, 2011. Population connected to urban wastewater treatment. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=ten00022&plugin=1>
- FAOSTAT, 2010. Food and Agricultural Organization of the United Nations, the agricultural production domain. <http://faostat.fao.org/>, (viewed 20.7.2010)
- Finnoff, D., McIntosh, C., Shogren, J.F., Sims, C., Warziniack, T., 2010. Invasive species and Endogenous risk. *Annual Reviews of Resource Economics* 2: 77-100.
- Fleming-Lehtinen, V. & Laamanen, M. 2012. Long-term changes in Secchi depth and the role of phytoplankton in explaining light attenuation in the Baltic Sea, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (2012), doi:10.1016/j.ecss.2012.02.015.
- Freeman III, A. M. 2003. The measurement of environmental and resource values. Theory and methods. Resources for the future, Washington, DC.
- Gelman, A., Carlin, J. B., Stern, H. S. & Rubin, D. B. 1995. Bayesian Data Analysis. Chapman & Hall/CRC, 1st edition. 552 p. ISBN 0 412 03991 5.
- Granéli, E., Wallström, K., Larsson, U., Granéli, W. & Elmgren, R. 1990. Nutrient limitation of primary production in the Baltic Sea area. *Ambio* 19: 142-151.
- Gren, I.-M., Jonzon, Y. & Lindqvist, M., 2008. Costs of nutrient reductions to the Baltic Sea – technical report. Working Paper Series, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekonomi
- Haab, T. C. & McConnell K. E. 2002. Valuing environmental and natural resources. The econometrics of non-market valuation. Edward Elgar, Cheltenham.
- Hansson, M. & Öberg, J. 2010. Cyanobacterial blooms in the Baltic Sea. HELCOM Indicator Fact Sheet.
- Hasler, B., Smart, J.C.R. & Fonnesbech-Wulff, A. 2012. Structure of BALTICSIT Drainage basin scale abatement cost minimisation model for nutrient reduction in the Baltic Sea regions. RE-COCA Deliverable 8.1.
- Hardin, G. 1968. The tragedy of commons. *Science* 162: 1243-1248.
- Helin, J., Laukkanen, M. & Koikkalainen, K., 2006. Abatement costs for agricultural nitrogen and phosphorus loads: a case study of crop farming in South-Western Finland. *Agricultural and Food Science* 15, 351-374.
- *Helle, I., Lecklin, T., Jolma, A. & Kuikka S. 2011. Modeling the effectiveness of oil combating from an ecological perspective—A Bayesian network for the Gulf of Finland; the Baltic Sea. *Journal of Hazardous Materials* 185(1):182-192.
- *Helle, I. & Kuikka, S. 2010. Itämeren öljykuljetusten riskipeli. Teoksessa: Itämeren tulevaisuus. Toim. S. Bäck, M. Ollikainen, E. Bonsdorf, A. Eriksson, E. Hallanaro, S. Kuikka, M. Viitasalo, M. Walls. Gaudeamus 2010. 350 pp.
- *Helle, I., Kuikka, S. & Luoma, E. 2012a. Öljyonnettomuuksia kannattaa ehkäistä. Helsingin Sanomat. Vieraskynä 1.10.2012.
- *Helle, I., Vanhatalo, J., Rahikainen, M., Mäntyniemi, S. & Kuikka, S., 2012b. Integrated Bayesian risk analysis of ecosystem management in the Gulf of Finland, the Baltic Sea – How to do it? ICES C.M./I:04.
- HELCOM 2007. HELCOM Baltic Sea Action Plan. HELCOM Ministerial Meeting, Krakow, Poland, 15 November 2007. 103 p. http://www.helcom.fi/stc/files/BSAP/BSAP_Final.pdf
- HELCOM 2009a. Eutrophication in the Baltic Sea—An integrated thematic assessment of the effects of nutrient enrichment and eutrophication in the Baltic Sea region. Balt. Sea Environ. Proc. 115B. Helsinki Commission, Helsinki. 148 p.
- HELCOM 2009b. Biodiversity in the Baltic Sea, an integrated assessment on biodiversity and nature conservation in the Baltic Sea. Baltic Sea Environment Proceedings 116B.
- HELCOM 2010a. Ecosystem health of the Baltic Sea 2003-2007: HELCOM initial holistic assessment. Balt. Sea Environ. Proc. No. 122.

- HELCOM 2010b. Hazardous substances in the Baltic Sea. An integrated thematic assessment of hazardous substances in the Baltic Sea. Baltic Sea Environment Proceedings 120B. 116 p.
- HELCOM 2011. Fifth Baltic Sea Pollution Load Compilation (PLC-5). Baltic Sea Environment Proceedings No. 128.
- Hoikkala, L. 2012. Dynamics of dissolved organic matter and its bioavailability to heterotrophic bacteria in the Gulf of Finland, northern Baltic Sea. *PhD thesis; W. & A. de Nottbeck Foundation Sci. Rep. 37: 1-62*. ISBN 978-952-99673-9-1 (PDF).
- *Hyytiäinen, K. & Huhtala, A. 2012. Combating eutrophication in coastal areas at risk for oil spill. *Annals of Operations Research* (forthcoming).
- *Hyytiäinen, K. & Lehtiniemi, M. 2012. Vieraslajien riski koskettaa voimaloitakin. *Helsingin Sanomat* 27.5.2012. Yliökirjoitus.
- *Hyytiäinen, K., Lehtiniemi, M., Niemi, J.K. & Tikka, K. 2012a. An optimization framework for management of aquatic invasive species risk: the case of potential Asian clam (*Corbicula fluminea*) invasion in thermal pollution areas of the Northern Baltic Sea. European Association of Environmental and Resource Economists, 19th Annual Conference, 27 – 30 June 2012 <http://www.webmeets.com/EAERE/2012/Prog/viewpaper.asp?pid=896>
- *Hyytiäinen, K., Lehtiniemi, M., Niemi, J. & Tikka, K. 2012b. An Optimization Framework for Addressing Aquatic Invasive Species. (submitted manuscript)
- IFA, 2010. International Fertilizer Industry Association. <http://www.fertilizer.org/ifa/ifadata/results>, viewed 30.12.2010
- Iho, A., 2007. Dynamically and spatially efficient phosphorus policies in crop production. Licentiate thesis.
- Jorgensen, B. S., Syme, G. J., Bishop, B. J. & Nancarrow, B. E. 1999. Protest Responses in Contingent Valuation. *Environmental and Resource Economics* 14:131-150.
- *Juntunen, T., Ahtiainen, H. & Mäntyniemi, S. 2012. A Bayesian approach to uncertainty estimation in single-bounded dichotomous choice contingent valuation. (submitted manuscript).
- Kansallinen vieraslajistrategia. 2012. Maa- ja metsätalousministeriö. <http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/vieraslajiseminaari9.12.2009/67MLG2Hn1/Vieraslajistrategia.pdf>
- Kiirikki M., Inkala, A., Kuosa, H., Pitkänen, H., Kuusisto, M. & Sarkkula, J. 2001. Evaluating the effects of nutrient load reductions on the biomass of toxic nitrogen-fixing cyanobacteria in the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Boreal Environment Research*. 6: 1–16.
- Kiirikki, M., Lehtoranta, J., Inkala, A., Pitkänen, H., Hietanen, S., Hall, P., Tengberg, A., Koponen, J. & Sarkkula, J. 2006. A simple sediment process description suitable for 3D-ecosystem modeling – Development and testing in the Gulf of Finland. *Journal of Marine Systems*. 61: 55-66.
- Koponen, J., Alasaarela, E., Lehtinen, K., Sarkkula, J., Simbierowicz, P., Vepsä, H. & Virtanen, M. 1992. Modeling the dynamics of a large sea area. Bothnian Bay Research Project 1988–90. Publications of the Water and Environment Research Institute. 7: 1–91, National Board of Waters and the Environment, Helsinki.
- Lappalainen, A., Shurukhin, A., Alekseev, G. & Rinne, J. 2000. Coastal-Fish Communities along the Northern Coast of the Gulf of Finland, Baltic Sea: Responses to Salinity and Eutrophication. *International Review of Hydrobiology* 85:687-696.
- Larsson, U., S. Hajdu, J. Walve, & R. Elmgren. 2001. Baltic Sea nitrogen fixation estimated from the summer increase in upper mixed layer total nitrogen. *Limnol. Oceanogr.* 46: 811-820.
- Lehikoinen, A., Luoma, E., Hänninen, M. & Storgård, J. 2012a. A multidisciplinary modeling approach to minimize the ecological risks of maritime oil transportation. (unpublished).
- *Lehikoinen, A., Luoma, E., Mäntyniemi, S. & Kuikka, S. 2012b. Optimizing the Recovery Efficiency of Finnish Oil Combating Vessels in the Gulf of Finland Using Bayesian Networks. Submitted to *Environmental Science & Technology*.
- *Leppänen, J.-M., Rantajarvi, E., Bruun, J.-E. & Salojärvi, J. (toim.) 2012. Suomen merenhoitosuunnitelman valmisteluun kuuluva meriympäristön nykytilan arvio. Osa F. Sosioekonominen analyysi. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=408126&lan=fi&clan=fi>
- Lignell, R., Seppälä, J., Kuuppo, P., Tamminen, T., Andersen, T. & Gismervik, I. 2003. Beyond bulk properties: Responses of coastal summer plankton communities to nutrient enrichment in the northern Baltic Sea. *Limnol. Oceanogr.* 48: 189-209.
- *Luoma, E., Helle, I. & Kuikka, S. Incorporating the maritime transport risk analysis: cost – benefit model of the oil spill mitigation and impacts. (unpublished).
- Maar, M., Friis Møller, E., Larsen, J., Skovgaard Madsen, K., Wan, Z., She, J., Jonasson, L. & Neumann, T. 2011. Ecosystem modeling across a salinity gradient from the North Sea to the Baltic Sea. *Ecological Modelling* 222, 1696-1711.
- de Madariaga, B.M., Ramos, J. & Tarazona, J.V., 2009. Development of an European quantitative eutrophication risk assessment of polyphosphates in detergents. Green Planet Research Report GPR-CEEP-09-1-Final
- Markowska, A. & Zylicz, T. 1999. Costing an international public good: the case of the Baltic Sea. *Ecological Economics*. 30: 301-316.
- Meyerhoff, J. & Liebe, U. 2006. Protest beliefs in contingent valuation: Explaining their motivation. *Ecological Economics* 57:583-594.
- Myrberg, K., Leppäranta, M. & Kuosa, H. 2006. Itämeren fysiikka, tila ja tulevaisuus. *Palmeniasarja*(17), [The Physics, State and Future of the Baltic Sea], 202 pp, Helsinki University Press, (in Finnish), 202 pp.

- Mörth, C.-M., Humborg, C., Eriksson, H., Danielsson, Å., Medina, M.R., Löfgren, S., Swaney, D.P. & Rahm, L. 2007. Modelling riverine nutrient transport to the Baltic Sea—a large scale approach. *Ambio* 36 (2):124-133.
- Neumann, T. & Schernewski, G. 2008. Eutrophication in the Baltic Sea and shifts in nitrogen fixation analyzed with a 3D ecosystem model. *The Journal of Marine Systems*. 74: 592–602.
- Neumann, T. 2000. Towards a 3D-ecosystem model of the Baltic Sea. *The Journal of Marine Systems*. 25: 405–419.
- Neumann, T., Fennel, W. & Kremp, C. 2002. Experimental simulations with an ecosystem model of the Baltic Sea: A nutrient load reduction experiment. *Global Biogeochemical Cycles*. 16: 1033-1051.
- Nikitina, S.V. 2000. Population decline and population ageing in the Russian Federation. UN/POP/PRA/2000/13. <http://www.un.org/esa/population/publications/popdecline/nikitina.pdf>
- Ovaskainen, V., Neuvonen, M. & Pouta, E. 2012. Modelling recreation demand with respondent-reported driving cost and stated cost of travel time: A finnish case. *Journal of Forest Economics* 18 (4): 303-317
- Owenius, S. & van der Nat, D., 2011. Measures for water protection and nutrient reduction. Baltic Compass JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering
- Paillard, S., Treyer, S. & Dorin, B. 2009. Scénarios et défis pour nourrir le monde en 2050. *Agri-monde*. <http://www.cirad.fr/en/news/all-news-items/articles/2010/ca-vient-de-sortir/agri-monde>
- Partila, M. 2010. Alusöljyvahingon seurauksena rantautuvan öljyn lajitteluohjeiston muodostaminen. Lappeenranta teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, diplomityö.
- *Pavlova, Y. & de Zeeuw A. 2012. Asymmetries in International Environmental Agreements. (submitted manuscript)
- Pearson, T. H. & Rosenberg, R. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 16:229-311.
- Pitkänen, H., Kiirikki, M., Savchuk, O.P., Räsänen, A., Korpinen, P. & Wulff, F. 2007. Searching efficient protection strategies for the eutrophied Gulf of Finland: The combined use of 1D and 3D modeling in assessing long-term state scenarios with high spatial resolution. *Ambio* 36, 272-279.
- Pitkänen, H. & Tamminen, T. 1995. Nitrogen and phosphorus as production limiting factors in the estuarine waters of the eastern Gulf of Finland. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 129: 283-294.
- Raateoja, M., Seppälä, J., Kuosa, H., & Myrberg, K. 2005. Recent changes in trophic state of the Baltic Sea along SW coast of Finland. *Ambio* 34: 188-191.
- Ready, R. & Navrud, S., 2006. International benefit transfer: Methods and validity tests. *Ecological Economics*. 60(2): 429-434.
- Rumohr, H., Bonsdorff, E. & Pearson, T.H. 1996. Zoobenthic succession in Baltic sedimentary habitats. *Arch. Fish. Mar. Res.* 44(3):179-214.
- Saarela, I., Järvi, A., Hakkola, H. & Rinne, K., 2004. Phosphorus status of diverse soils in Finland as influenced by long-term P fertilization 2. Changes of soil test values in relation to P balance with references to incorporated depth of residual and freshly applied P. *Agricultural and Food Sciences in Finland* 13, 276-294.
- Savchuk, O. P. & Wulff, F., 2007. Modeling the Baltic Sea Eutrophication in a Decision Support System, *Ambio* 36 (2), 141-148.
- Sheffer, M., Carpenter, S., Foley, J.A., Folke, C. & Walker, B. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. Review article. *Nature* 413, 591-596.
- Schou, J.S., Neye, S.T., Lundhede, T., Martinsen, L. & Hasler, B., 2006. Modelling cost-efficient reductions of nutrient loads to the Baltic Sea. Model specification, data and cost functions. National Environmental Research Institute, Denmark, NERI Technical report 592.
- *Söderqvist, T., Ahtiainen, H., Artell, J., Czajkowski, M., Hasler, B., Hasselström, L., Huhtala, A., Källström, M., Khaleeva, J., Martinsen, L., Meyerhoff, J., Nömmann, T., Oskolokaite, I., Ras-trigina, O., Semenienė, D., Soutukorva, Å., Tuhkanen, H., Vanags, A. & Volchkova, N. 2010a. Baltic Survey—A survey study in the Baltic Sea countries on people’s attitudes and use of the sea- Report on basic findings. Swedish Environmental Protection Agency Report Series. Report 6348. http://www.stockholmresilience.org/download/18.5004bd9712b572e3de6800014154/BalticSurvey_bakgrundsrapport_webb.pdf
- *Söderqvist, T., Ahtiainen, H., Artell, J., Czajkowski, M., Hasler, B., Hasselström, L., Huhtala, A., Källström, M., Khaleeva, J., Martinsen, L., Meyerhoff, J., Nömmann, T., Oskolokaite, I., Ras-trigina, O., Semenienė, D., Soutukorva, Å., Tuhkanen, H., Vanags, A. & Volchkova, N. 2010b. BalticSurvey—A study in the Baltic Sea countries of public attitudes and use of the sea—Summary of main results Swedish Environmental Protection Agency Report Series. Report 6382. http://www.stockholmresilience.org/download/18.58f663a12dd939780a8000502/BalticSurvey_summary+w+logo.pdf
- Söderqvist, T. & Hasselström, L. 2008. The economic value of ecosystem services provided by the Baltic Sea and Skagerrak. Existing information and gaps of knowledge. SEPA Report 5874, December 2008. Stockholm.
- Stern, N. 2006. Stern review on the economics of climate change. http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm

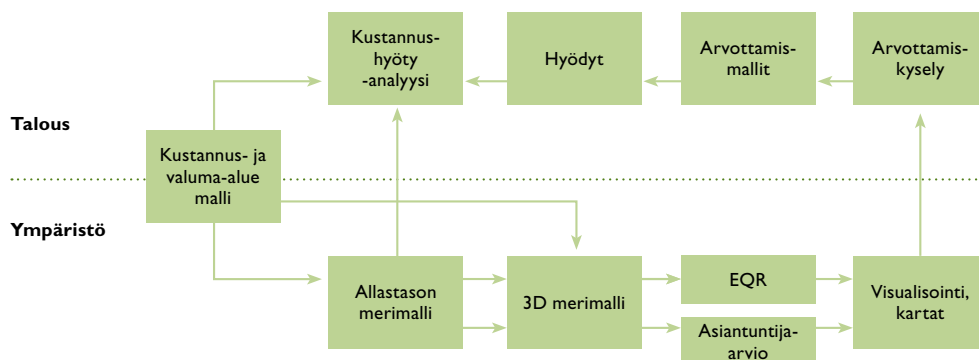
- Tamminen, T. & Andersen, T. 2007. Seasonal phytoplankton nutrient limitation patterns as revealed by bioassays over Baltic Sea gradients of salinity and eutrophication *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 340: 121–138.
- Tilastokeskus 2012. Kansainvälinen hintavertailu. <http://www.stat.fi/meta/til/kvhv.html> Viitattu 15.10.2012.
- Tuomi, L., Pitkänen, H., Inkala, A., Korpinen, P., Räsänen, A., Lehtoranta, J. & Myrberg, K. Evaluating the effect of the nutrient reductions schemes on the state of the Gulf of Finland with 3D ecosystem model. [Manuscript, prepared within the project "Integrated Bayesian risk analysis of ecosystem management in the Gulf of Finland" (IBAM)]
- Tuominen, L., A. Heinänen, J. Kuparinen, & L.P. Nielsen. 1998. Spatial and temporal variability of denitrification in the sediments of the northern Baltic proper. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 172: 13–24.
- Turner, R. K., Georgiou, S., Gren, I.-M., Wulff, F., Barrett, S., Söderqvist, T., Bateman, I. J., Folke, C., Langaas, S., Zyllicz, T., Mäler, K.-G. & Markowska, A., 1999. Managing nutrient fluxes and pollution in the Baltic: an interdisciplinary simulation study. *Ecological Economics* 30: 333–352.
- UNEP/GRID-Arendal. 2012. Baltic Sea Region GIS, Maps and Statistical Database. 2012. <http://www.grida.no/baltic/index.htm>
- Uusitalo, L., Kuikka, S., Kauppila, P., Söderkultalahti P. & Bäck, S. 2011. Assessing the Roles of Environmental Factors in Coastal Fish. *Integrated Environmental Assessment and Management*, DOI: 10.1002/ieam.180.
- Vahtera, E., Conley, D. J., Gustafsson, B. G., Kuosa, H., Pitkänen, H., Savchuk, O. P., Tamminen, T., Viitasalo, M., Voss, M., Wasmund, N. & Wulff, F. 2007. Internal ecosystem feedbacks enhance nitrogen-fixing cyanobacteria blooms and complicate management in the Baltic Sea. *Ambio* 36: 186–193.
- Villnäs, A. & Norkko, A. 2011. Benthic diversity gradients and shifting baselines: implications for assessing environmental status. *Ecol Appl.* 21(6):2172–86.
- Virtanen, M., Koponen, J., Dahlbo, K. & Sarkkula, J. 1986. Three-dimensional water-quality transport model compared with field observations. *Ecological Modelling* 31, 185–199.
- Whitehead, J. C. & Blomquist, G. C. 2006. The use of contingent valuation in benefit-cost analysis. Teoksessa Alberini, A. & Kahn, J. R. (toim.) 2006. *Handbook on Contingent Valuation*. S. 92–115. Edward Elgar Publishing Limited, UK.
- Öborn, I., Magnusson, U., Bengtsson, J., Vrede, K., Fahlbeck, E., Jensen, E.S., Westin, C., Jansson, T., Hedenus, F., Lindholm-Schulz, H., Stenström, M., Jansson, B. & Rydmer, L. 2011. Five scenarios for 2050—Conditions for agriculture and land use. SLU. <http://www.slu.se/Documents/externwebben/centrumbildningar-projekt/framtidens-lantbruk/Scenariorapport-en.pdf>

Mallit rehevöitymisen kustannus-hyötyanalyysissä

Itämeren rehevöitymisen kustannusten ja hyötyjen vertailuun rakennettiin mallikonaisuus, jossa yhdistettiin eri aloilta saatuja mittausaineistoja ja tutkimustuloksia. Liitekuva A1 esittää mallin osa-alueet, jotka esitellään liitteissä 2-8. Malliosien tekniset yksityiskohdat esitetään tutkimusjulkaisuissa.

Rehevöitymisen torjumisen kustannus-hyötyanalyysissä ensimmäinen tehtävä on arvioida mittausaineistoihin perustuen eri maista, alueilta ja kuormituslähteistä tulevan ravinnekuormituksen määrä nykytilanteessa sekä ennakoida ravinnekuormituksen tulevaa kehitystä nykyisellä vesiensuojelun tasolla (Liitteet 2-3). Näiden tietojen avulla voidaan laskea ns. kuormituksen perusura (Liite 3). Toiseksi sovelletaan luonnontieteen malleja ennustamaan Itämeren tilan kehitystä ravinnepitoisuuksiin ja muihin veden laatua kuvaavien muuttujien avulla (Liitteet 4-5). Nämä mallit kuvaavat veden ja veden mukana kulkeutuvien aineiden (ml. ravinteet) liikkeitä ja mm. planktonlevien biomassan vaihteluja Itämeren eri osissa. Kolmantena tehtävänä on muuntaa merimalleista saatu tekninen, veden ominaisuuksia kuvaava tieto veden laaduksi sellaisilla asteikoilla ja mittareilla, jotka ovat kansalaisten helposti havainnoitavissa ja koettavissa (Liitteet 6-7). Neljänneksi arvioidaan kansalaisten maksuhalukkuutta rehevöitymisen vähentämiselle arvottamistutkimuksen avulla (Liite 8). Maksuhalukkuus kuvaa hyötyjä, joita kansalaiset kokevat mahdollisista parannuksista veden laadussa.

Rehevöitymistä voidaan torjua vähentämällä ravinteiden päätymistä veteen peloilta, metsistä, teollisuuslaitoksista, taajamien ja haja-asutusalueiden viemäriverkostoista ja laskeumana ilmansaasteista. Viides tehtävä rehevöitymisen torjunnan kustannus-hyötyanalyysissä onkin identifioida joukko toimenpiteitä, joiden avulla ravinnekuormitusta eri lähteistä voidaan vähentää, ja arvioida näiden toimenpiteiden vaikuttavuutta ja kustannuksia eri mitoituksen tasoilla (Liite 9). Kuudes tehtävä on määrittää sellainen toimenpideyhdistelmä, jossa saavutetaan haluttu vaikutus mahdollisimman pienin kustannuksin. Viimeisenä seitsemäntenä tehtävänä on verrata kustannustehokkaiden toimenpideyhdistelmien kokonaiskustannuksia veden laadun paranemisesta koituviin kokonaisuushyötyihin eri vesiensuojelun tasoilla ja vetää johtopäätös hankkeen kannattavuudesta.



Liitekuva A1. Itämeren rehevöitymisen kustannustehokkuus- ja kustannus-hyötyanalyysissä käytetyn mallin elementit

Rehevöityminen ja Itämeren ravinnekuormitus

Itämeren rehevöityminen johtuu kahden keskeisen perustuotantoa säätelevän kasvinravinteen, typen ja fosforin, liiallisesta kuormituksesta. Ulkoinen ravinnekuormitus suhteutettuna meren pinta-alaan ei ole erityisen suuri, mutta Itämeren hidas vedenvaihto ja erityiset kerrostuneisuusolot tekevät siitä hyvin herkästi rehevöityvän. Itämeren ulkoinen ravinnekuormitus on alentunut selvästi viime vuosikymmeninä, muun muassa yhdyskuntajätevesien tehostuneen puhdistuksen seurauksena. Vaikka kuormituskehitys on pysähtynyt, kovin merkittävää Itämeren tilan paranemista ei kuormitettuja rannikkoalueita lukuun ottamatta ole todettu. Kuitenkin, Suomenlahdella kasviplanktonin kevätkukinnan intensiteetin on voitu osoittaa laskeneen 1990-luvun alun jälkeen (Raateoja ym. 2005), minkä katsotaan johtuvan merialueen merkittävästi alentuneesta typpikuormituksesta samaan aikaan.

Itämeren rehevöitymisen tiimoilla käytävät tieteelliset keskustelut kulminoituvat usein siihen, onko typpi (N) vai fosfori (P) merialueiden rehevöitymistä (elävän orgaanisen aineksen eli biomassan määrää) ensisijaisesti rajoittava minimiravinne. Periaatteessahan kustannustehokas rehevöitymisen torjunta kannattaa kohdentaa minimiravinteen saatavuuden rajoittamiseen. Ravinnekuormituksen vaikutusten arviointi on kuitenkin laaja aihe kattaen tila- ja aikaskaalat planktonin organismien fysiologisesta ravinnerajoitteisuudesta vallitsevan yhteisön biomassavasteiden kautta ekosysteemitason vaikutuksiin ja takaisinkytkentöihin. Kuvaa mutkistavat lisäksi rannikon fysikaalis-kemiallisten vaihtumisvyöhykkeiden ja altaiden hydrodynamiikan suuri merkitys avoimissa jokisuuympäristöissä (esim. Pitkänen ja Tamminen 1995, Myrberg ym. 2006), joihin ei tässä kuitenkaan tarkemmin puututa.

Fosforia päätyy Itämereen ulkoisen kuormituksen välityksellä ja poistuu sedimentaation, ulosvirtauksen ja kalastuksen seurauksena, kun taas typpikuormaa säätelee tämän lisäksi rajoittamattomasti saatavilla olevan kaasumaisen typen (N_2) sidonta sinilevien toimesta ja denitrifikaatiossa tapahtuva biologisesti käyttökelpoisen epäorgaanisen typen poisto inerttiin N_2 -varantoon. Näin ollen Itämeren ekosysteemi toimii kemostaatin tavoin, se on viime kädessä, geologisessa mittakaavassa, fosforirajoitteinen (termostaattiin säädetty lämpötila), kun taas typpi on ensisijaisesti rajoittava ravinne (huoneen lämpötila), jonka rooli määräytyy N_2 -sidonnan ja denitrifikaation välisestä tasapainosta. Sinilevien N_2 -sidonta on Itämeressä ilmeisesti suuruudeltaan suunnilleen samaa luokkaa kuin denitrifikaation välittämä N_2 -poistuma (Tuominen ym. 1998, Larsson ym. 2001).

Planktoniyhteisössä vain rihmamaiset sinilevät pystyvät sitomaan kaasumaista alkuainetyyppiä, ja typpirajoitteisissa systeemeissä ne saavat näin kilpailuedun, jos vapaata fosfaatti-fosforia on saatavilla. Koko nykymuotoisen 7000 vuoden olemassaolonsa ajan Itämeressä on sedimenttitutkimusten mukaan ollut tyyppiä sitovia sinileviä (Bianchi ym. 2000), mikä viittaa siihen, että Itämeri on ainakin suurimman osan tästä ajasta ollut typpirajoitteinen. Vastaavasti typpi on yleensä osoittautunut viimeaikaisissa biovastekokeissa koko planktonsystemin rehevöitymistä rajoittavaksi ravinteeksi kaikilla keskeisillä tila- ja aikaskaaloilla mitattuna (paikalliset 2-3 vrk:n ravinnelisyyskokeet – ekosysteemitason yli 20 vuoden ”puhdistamokoe” Himmerfjärdenin lahdella, Ruotsissa; Granéli ym. 1990, Elmgren ja Larsson 2001, Lignell ym. 2003, Tamminen ja Andersen 2007).

Kasvukauden aikainen levälajiston kehitys säätelee merkittävästi ravinteiden saatavuutta Itämerellä. Keväällä, jäiden lähdettyä piilevien ja panssarisiimalevien voimakas kukinta kuluttaa veteen kertyneitä ravinteita, ja kun epäorgaaninen typpi on kulunut loppuun (typpirajoitteisuus), kukinta vajoaa pohjalle. Kesällä sinilevät

hyödyntävät ”yli” jääneen fosfaatti-fosforin, ja muodostavat kukintoja typensidonnan turvin epäorgaanisen typen ollessa vähissä (Larsson ym. 2001). Osa sidotusta tyyppistä (n. 30%; ks. Hoikkala 2012) kanavoituu ravintoverkon käyttöön rehevöittäen sitä lisää.

Liiallisen ravinnekuormituksen myötä rehevöityminen ja hiukkasmaisen orgaanisen aineksen sedimentaatio yltyvät, mikä voi johtaa vaaralliseen kierteseen (Tamminen ja Andersen 2007, Vahtera ym. 2007): Vajoava aines kuluttaa hajotessaan pohjalta hapen, ja Itämeren hapettomien pohja-alueiden pinta-ala onkin kasvanut rehevöitymisen myötä. Tämä puolestaan johtaa pohjalle hapekkaissa oloissa pitkän ajan kuluessa varastoituneiden epäorgaanisten ravinteiden, etenkin fosforin vapautumiseen vesipatsaaseen ja parantaa näin myös sinilevien kasvuedellytyksiä pintakerroksessa. Lisäksi denitrifikaatio vaatii hapekkaita oloja pohjalla, joten myös tämä sinilevien N_2 -sidonnan vastavoima heikkenee rehevöitymisen myötä. Sinilevien N_2 -sidonnan kasvaessa rehevöityminen siis pahenee, mikä edelleen kasvattaa P:n sisäistä kuormitusta jne.

Yhteenvetona voidaankin todeta, että nykyinen rannikkovesien hoitolinja, joka perustuu sekä N- että P-kuormituksen vähentämiseen, on järkevä. Typpi rajoittaa systeemin kokonaisbiomassaa eli rehevöitymisastetta, ja tämän väheneminen johtaisi myös pohjien happitilanteen kohenemiseen. Fosforin saatavuus kontrolloi puolestaan loppukesän haitallisten sinileväkukintojen biomassaa ja N_2 -sidontaa.

Itämeren kuormituskenaariot

Skenaariot ovat kertomuksia mahdollisista tulevaisuuden kehityskuluista, jotka perustuvat mittaustietoihin tarkastelukohteen nykytilasta ja menneestä kehityksestä sekä tutkimukseen perustuvaan käsitykseen kuormitukseen vaikuttavista tekijöistä ja näiden kausaalisista syy-seuraussuhteista. Itämeren kuormituskenaariot ovat Itämeren ravinnekuormituksen kehitysuria, jotka kuvaavat typen ja fosforin vuotuista kuormitusta nykytilanteesta johonkin ennalta sovittuun ajankohtaan saakka (tässä tutkimuksessa 40 vuotta nykytilanteesta). Perusura (eng. baseline scenario) on kertomus todennäköisimmästä tulevaisuuden kehityskulusta, ja se antaa vertailukohtaan erilaisten toimenpideohjelmien vaikuttavuuden ja kustannusten arviointiin.

Perusuran määrittely perustuu kustannus-hyötyanalyysin kysymyksenasetteluun. Tässä tutkimuksessa tavoitteena oli arvioida Itämeren toimintaohjelman (BSAP) mukaisten kuormitusvähennysten kustannuksia ja hyötyjä nykyiseen vesiensuojelun tasoon verrattuna. Näin ollen Itämeren kuormituksen perusura määritettiin ennusteena Itämeren tilan kehityksestä olettaen, että vuoteen 2008 mennessä rakennettu vesiensuojelun infrastruktuuri ja rakenne ylläpidetään seuraavien 40 vuoden aikana mutta uusiin investointeihin ei ryhdytä. Tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että mm. vesipuitedirektiivin ja mahdolliset meristrategiadirektiivin mukaiset toimenpiteet eivät sisälly perusuraan vaan ovat osa optimoituja toimenpideyhdistelmiä.

Typen ja fosforin kuormitukseen perusurat on laskettu kaikille 23:lle rannikkovaltion ja altaan yhdistelmälle. Liitetaulukkoissa A1 ja A2 kuormitusurat on yhdistetty altaittain. Kuormitusurat laskettiin allastason mallilla (ks. Liite 4) ja käyttämällä mallin lähtötiloina ennusteita väkiluvun ja maataloutta kuvaavien muuttujien todennäköisimmästä kehityskulusta. Typen ja fosforin kuormituksen perusurat esitetään liitetaulukkoissa A1 ja A2.

Liitetaulukko A1. Typen kuormituksen perusura

Vuosi	Perämeri	Selkämeri	Suomenlahti	Pääallas	Riianlahti	Tanskan salmet	Kattegat	Yht.
1	53 850	55 390	116 870	294 900	86 140	42 310	57 250	706 710
5	53 750	55 220	116 530	295 640	85 790	42 190	56 990	706 110
10	53 530	54 910	116 150	297 030	85 420	42 040	56 550	705 630
15	53 460	54 750	115 920	296 130	85 190	41 920	56 300	703 670
20	53 460	54 750	115 920	296 130	85 190	41 920	56 300	703 670
25	53 460	54 750	115 920	296 130	85 190	41 920	56 300	703 670
30	53 460	54 750	115 920	296 130	85 190	41 920	56 300	703 670

Typen kokonaiskuormitus laskee nykytasoon verrattuna hieman (0,5%) seuraavan 12 vuoden kuluessa ja pysyy sen jälkeen vakiona. Fosforin kuormitus taas laskee seuraavien 40 vuoden aikana yhteensä 2,5% nykytasoon verrattuna. Fosforin osalta taustamuuttujissa tapahtuvat muutokset vaikuttivat ravinnekuormitukseen viiveellä maaperäfosforin dynamiikan takia. Analyysissä kuitenkin oletettiin että 30 vuoden kuluttua kuormitus ei enää merkittävästi muutu.

Perusuraa määritettäessä ensimmäinen tehtävä oli identifioida talouden sektorit, jotka kuormittavat Itämeren. Tämän jälkeen ennakoitiin lähinnä maatalouden kehitystä ja kuormitusta ilman uusia investointeja vesiensuojeluun. Seuraavaksi määritettiin tilastoihin (Liite 12: liitetaulukko A14) perustuen nykykuormitus valuma-alueittain ja arvioitiin miten maatalouden odotettu tulevaisuuden kehitys vaikuttaa kuormitukseen.

Liitetaulukko A2. Fosforin kuormituksen perusura

Vuosi	Perämeri	Selkämeri	Suomen-lahti	Pääallas	Riian-lahti	Tanskan salmet	Kattegat	Yht.
1	2335	2186	6267	16 000	2985	1385	1563	32 721
5	2331	2186	6174	16 049	2947	1383	1558	32 628
10	2325	2186	6061	16 119	2903	1382	1550	32 526
15	2319	2182	5952	16 194	2860	1380	1543	32 430
20	2312	2179	5850	16 200	2819	1378	1537	32 275
25	2307	2176	5753	16 146	2781	1377	1531	32 071
30	2302	2172	5661	16 094	2745	1376	1525	31 875

Maatalous on yksi merkittävimmistä kuormittajista kaikissa Itämeren maissa. Maatalouden kuormitukseen vaikuttavat peltomaan pinta-ala, maanmuokkaus, viljelykasvit, epäorgaanisten lannoitteiden käyttö sekä tuotantoeläinten määrät. Tuotantoeläinten lantaa voidaan hyödyntää peltöjen lannoituksessa Suomessa ja useimmissa muissa Itämeren maissa. Perusuraskenaariossa tulee maatalouden osalta kyetä ennakoimaan kaikkien näiden tekijöiden tulevaisuuden kehitys ja yhteisvaikutukset kuormitukseen. Lyhyellä aikavälillä tärkein maataloustuotannon intensiteettiin ja rakenteeseen vaikuttava tekijä on kansallinen ja kansainvälinen maatalouspolitiikka. Itämeren rannikkovaltiot kuuluvat Euroopan Unioniin Venäjää lukuun ottamatta. EU-maissa erityisesti EU:n yhteinen maatalouspolitiikka (Common Agricultural Policy, CAP) on keskeinen instrumentti ja sillä on suuri vaikutus myös maatalouden ulkoisvaikutuksiin mukaan lukien vesistöjen ravinnekuormitus.

Maataloussektorin tulevaisuudenkehitys perustui pääosin Agmemod-malliin, joka ennustaa maankäytön, eläinten määrän ja viljan hinnan kehityksen kahdelletoista ensimmäiselle vuodelle kahdeksalle Itämeren valuma-alueen EU-maalle (Agmemod partnership, 2010). Pitkällä aikavälillä ruoantuotantoon Itämeren valuma-alueella vaikuttavat muutokset kulutustottumuksissa, elintarvikkeiden tuonnissa ja viennissä. Näitä muutoksia on hyvin vaikea ennakoida ja teimme konservatiivisen oletuksen, että peltopinta-alat sekä eläinmäärät eivät merkittävästi muutu 12:sta vuoden jälkeen. Liitetaulukko A3 esittää ennakoidut eläinmäärien, maatalousmaan pinta-alan ja epäorgaanisten lannoitteiden määrät.

Liitetaulukko A3. Maatalouden kuormitukseen vaikuttavien muuttujien oletettu kehitys ensimmäisten 12 vuoden aikana

(a) Siipikarjan ennakoitu kehitys (1000 kpl) Itämeren valuma-alueella									
vuosi	Ruotsi	Suomi	Venäjä	Viro	Latvia	Liettua	Puola	Saksa	Tanska
0	7 150	4 930	8 700	1 760	4 000	8 840	124 130	18 710	19 220
4	7 455	5 719	8 700	1 835	4 850	9 285	159 340	21 504	20 967
8	7 709	6 200	8 700	1 926	5 688	9 582	179 944	23 823	21 677
12	7 919	6 553	8 700	1 985	6 526	9 778	198 734	25 778	22 315
(b) Sikojen lukumäärän ennakoitu kehitys (1000 kpl) Itämeren valuma-alueella									
vuosi	Ruotsi	Suomi	Venäjä	Viro	Latvia	Liettua	Puola	Saksa	Tanska
0	2 070	1 235	372	292	419	1 127	18 078	1 492	6 693
4	2 256	1 308	372	280	436	1 033	17 604	1 559	6 683
8	2 335	1 276	372	234	448	1 047	17 961	1 594	6 758
12	2 401	1 257	372	182	463	1 024	18 187	1 606	6 792
(c) Nautakarjan ennakoitu kehitys (1000 kpl) Itämeren valuma-alueella									
vuosi	Ruotsi	Suomi	Venäjä	Viro	Latvia	Liettua	Puola	Saksa	Tanska
0	1 843	992	603	283	432	981	6 767	912	1 137
4	1 663	921	603	262	399	957	6 759	842	1 100
8	1 473	867	603	255	372	879	6 790	796	1 073
12	1 279	829	603	246	348	782	6 757	755	1 044
(d) Maatalousmaan pinta-alan kehitys (neliökilometreinä)									
vuosi	Ruotsi	Suomi	Venäjä	Viro	Latvia	Liettua	Puola	Saksa	Tanska
0	26 350	22 630	78 120	6 060	11 770	18 890	129 700	15 850	21 260
4	26 526	21 621	78 120	3 564	10 765	18 890	129 700	15 806	21 260
8	26 552	21 170	78 120	3 285	10 852	18 890	129 700	15 762	21 260
12	26 497	20 632	78 120	2 762	10 736	18 890	129 700	15 719	21 260
(e) Epäorgaanisen typpilannoituksen käyttö (kg/ha)									
vuosi	Ruotsi	Suomi	Venäjä	Viro	Latvia	Liettua	Puola	Saksa	Tanska
0	74,4	72,5	9,5	39,2	46,3	68,1	88,5	149,6	96,1
4	75,0	73,1	10,1	41,8	49,3	72,6	94,3	150,8	96,9
8	75,6	73,7	10,8	44,5	52,6	77,3	100,5	152,0	97,6
12	76,2	74,3	11,5	47,4	56,0	82,4	107,1	153,2	98,4
(f) Epäorgaanisen fosforilannoituksen käyttö (kg/ha)									
vuosi	Ruotsi	Suomi	Venäjä	Viro	Latvia	Liettua	Puola	Saksa	Tanska
0	5,4	7,7	1,6	2,8	5,4	7,9	15,6	11,4	5,7
4	5,4	7,7	1,8	3,1	5,9	8,6	17,0	11,4	5,7
8	5,3	7,6	1,9	3,3	6,4	9,4	18,6	11,3	5,6
12	5,3	7,6	2,1	3,6	7,0	10,3	20,3	11,3	5,6

Lähteet: Baltic Nest (2012), Agmemod partnership (2010), FAOSTAT (2010), IFA (2010), EEA (2007)

Yhdyskuntien jätevesien kautta vesistöihin kulkeutuvien ravinteiden määriin vaikuttavat eritasoisissa kunnallisen jätevedenpuhdistuskapasiteetin piirissä nykyisin olevan väestön osuudet, ennusteet väkiluvun kehityksestä ja väestön jakaantumisesta haja-asutusalueiden ja asutuskeskusten välillä sekä fosfaattipitoisten pesuaineiden käyttö. Jäteveden puhdistuslaitokset jaetaan primaarisiin, sekundäärisiin ja tertiäärisiin puhdistustehon mukaan. Perusurassa oletetaan, että uusia panostuksia jäteveden puhdistukseen ei tehdä, mutta nykyinen jäteveden puhdistuksen taso säilytetään. Kuormituksen perusura perustuu jätevesien osalta tietoon nykykuormituksesta (liitetaulukko A4), väkiluvun kehitysennusteista (liitetaulukko A5), väestön määrästä eri käsittelymuotojen piirissä (liitetaulukko A6) ja erityyppisten jäteveden puhdistamosten puhdistustehosta (liitetaulukko A7).

Liitetaulukko A4. Yhdyskuntien vesistökuormitus

	Pyykinpesuaineiden fosfori, kg/hlö/vuosi	Astianpesuaineiden fosfori, kg/hlö/vuosi	Ihmisjäte, typpi, kg/hlö/vuosi	Ihmisjäte, fosfori, kg/hlö/vuosi
Ruotsi	0,00	0,06	3,9	1,1
Suomi	0,00	0,09	3,9	1,1
Venäjä	0,31	0,01	3,9	1,1
Viro	0,31	0,01	3,9	1,1
Latvia	0,28	0,01	3,9	1,1
Liettua	0,33	0,01	3,9	1,1
Puola	0,19	0,01	3,9	1,1
Saksa	0,00	0,09	3,9	1,1
Tanska	0,07	0,06	3,9	1,1

Lähteet: de Madariaga ym. (2009), Mörrh ym. (2007)

Liitetaulukko A5. Väkiluvun ennakoitu kehitys Itämeren valuma-alueella

	2008	2035	2060
Ruotsi	8 580 000	9 701 000	10 161 000
Suomi	4 952 000	5 192 000	5 047 000
Venäjä	8 827 000	7 522 000	6 838 000
Viro	1 364 000	1 266 000	1 153 000
Latvia	2 322 000	2 016 000	1 721 000
Liettua	3 476 000	3 097 000	2 632 000
Puola	38 010 000	36 041 000	31 053 000
Saksa	3 270 000	3 149 000	2 815 000
Tanska	4 667 000	4 992 000	5 045 000
Yht.	75 468 000	72 976 000	66 465 000

Lähteet: Europa Rapid (2012), Nikitina (2000)

Liitetaulukko A6. Väestön osuus eri jäteveden käsittelymuotojen piirissä

	Ei käsittelyä	Primäärinen	Sekundäärinen	Tertiäärinen
Ruotsi	19 %	0 %	0 %	81 %
Suomi	19 %	0 %	0 %	81 %
Venäjä	30 %	20 %	0 %	50 %
Viro	19 %	1 %	19 %	61 %
Latvia	35 %	2 %	25 %	38 %
Liettua	30 %	6 %	22 %	42 %
Puola	35 %	0 %	16 %	49 %
Saksa	7 %	0 %	0 %	93 %
Tanska	16 %	0 %	0 %	84 %

Lähde: EUROSTAT (2011)

Liitetaulukko A7. Jätevedenpuhdistamojen tehokkuus

	Typpi	Fosfori
Primääri	19 %	15 %
Sekundäärinen	38 %	35 %
Tertiäärinen	80 %	90 %

Lähde: Mörth ym. (2007)

Ilmansaasteiden mukana Itämereen kulkeutuvan typpi- ja fosforilaskeuman arviointiin käytettiin EMEP-data (<http://www.emep.int/>). Typpilaskeuma on merkittävämpi. Fosforilaskeuman arvioidaan olevan 1% typpilaskeumasta.

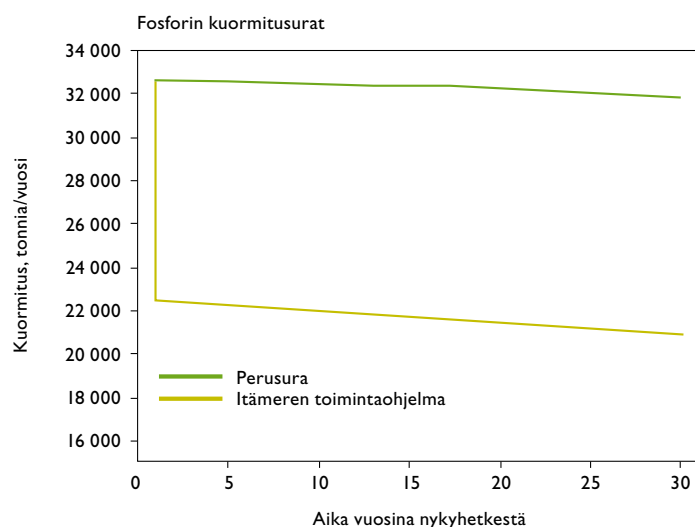
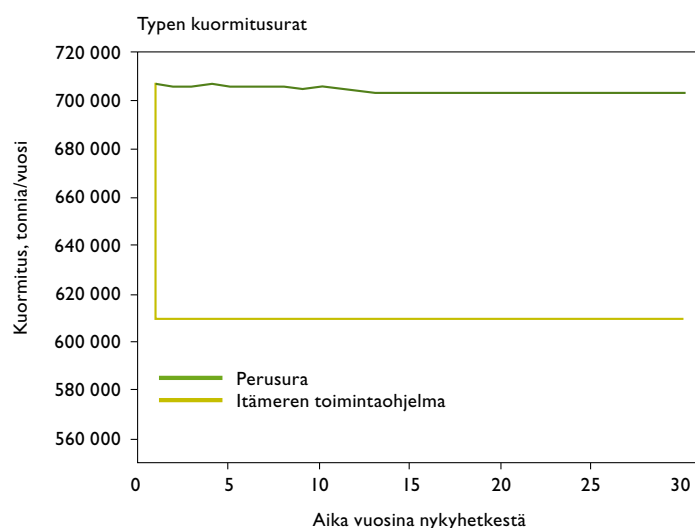
Liitetaulukko A8. Typpilaskeuma

Typpilaskeuma altaittain (tonnia /vuosi)							
	Perämeri	Selkämeri	Pääallas	Suomenlahti	Riianlahti	Tanskan salmet	Kattegat
0	8660	23560	127060	14930	10590	21720	18400
4	8437	23027	125913	14900	10390	21357	18193
8	8213	22493	124767	14870	10190	20993	17987
12	7990	21960	123620	14840	9990	20630	17780

Vastaavia kuormitusennusteita voidaan laatia erilaisille mahdollisille tulevaisuuden kuville. PROBAPS-hankkeessa tehty skenaariotyö nojautui BalticStern-sihteeristön työhön mahdollisista maailmankuvista ja uhista Itämeren rehevöitymiseen liittyen (BalticSTERN 2012). Tässä työssä kuvattiin kaksi vaihtoehtoista tulevaisuudenkuvaa Itämeren ravinnekuormitukselle: (1) myönteiseen ja tasapainoiseen yhteiskunnalliseen kehitykseen liittyvä skenaario, ja (2) tuhlaavan elämäntapaan ja kriisejä sisältävä skenaario (Paillard ym. 2009, Öborn ym. 2011). Tässä tutkimuksessa käytetty perusura nojautuu myönteiseen tulevaisuudenkuvaan.

Ravinnekuormitukseen liittyy todellisuudessa voimakasta vuotuista, sääoloista aiheutuvaa vaihtelua. Deterministisessä kustannus-hyötyanalyysissä tämä vaihtelu kuitenkin joudutaan jättämään huomiotta. Näin ollen perusura kuvaa todennäköisintä trendiä ravinnekuormitukselle eikä sitä voi sellaisenaan käyttää ennusteena vuosittaisista kuormituksista. Perusuraa varten tehtyjen oletusten seurauksena sekä typen että fosforin kuormitus säilyy lähes vakiona useimmissa altaissa ja jossain määrin pienenee koko Itämerelle laskettuna.

Liitekuvassa A2 havainnollistetaan typen ja fosforin kuormituksen trendiä koko Itämerelle laskettuna sekä perusuralla että Itämeren toimintaohjelman mukaisilla kuormitusvähennystavoitteilla. Itämeren toimintaohjelman toteuttava toimenpideyhdistelmä on laskettu hakemalla kustannustehokkaat toimenpideyhdistelmät maittain. Havainnollistuksessa oletetaan, että kaikki toimenpiteet käynnistetään täydessä laajuudessaan välittömästi. Tässä tilanteessa valtaosa toimenpiteiden vaikutuksista havaitaan heti. Fosforikuormituksen osalta osa vaikutuksesta realisoituu viiveellä peltöjen vähitellen pienenevän fosforiluvun myötä.

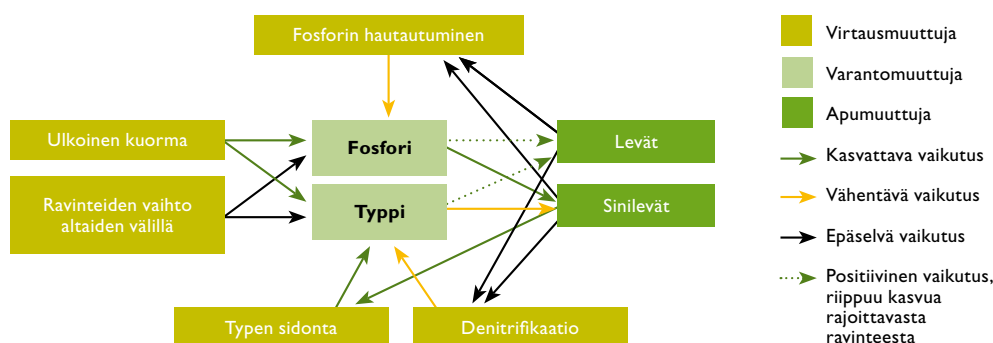


Liitekuva A2. Typen ja fosforin kehitysurat perusuralle ja Itämeren toimintaohjelmalle

Allastason malli Itämeren ravinnepitoisuuksien ennustamiseksi

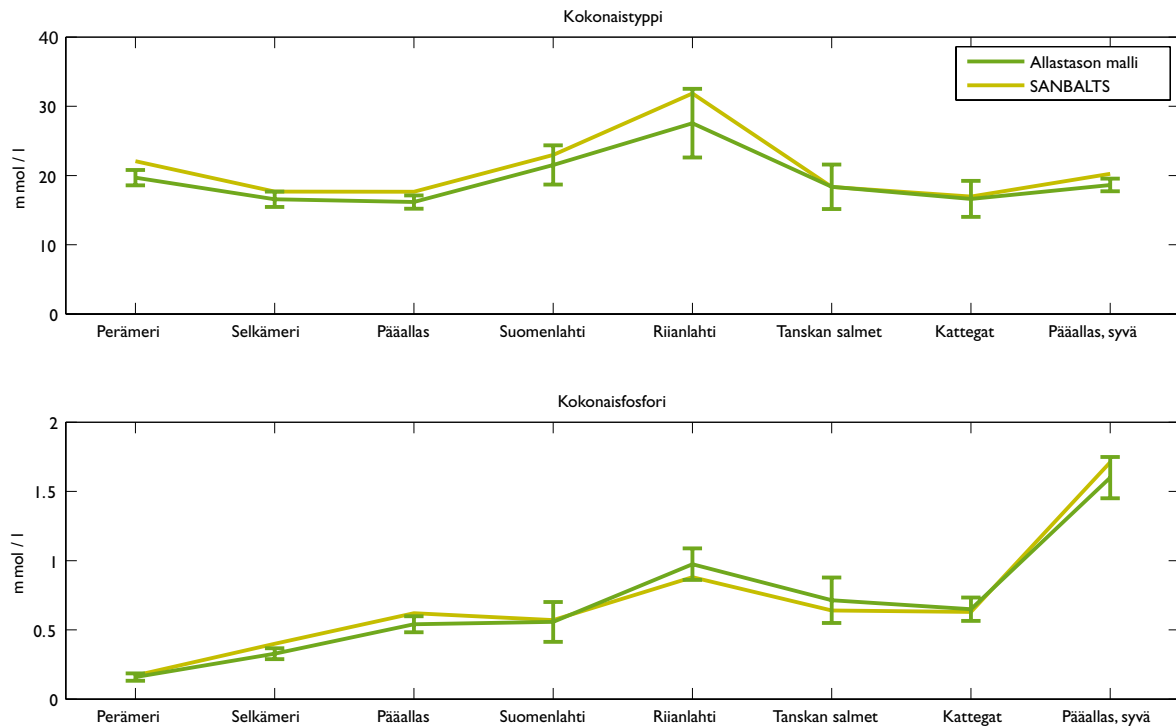
Allastason mallin avulla tuotettiin pitkän aikavälin ennusteita erilaisten kuormitusvähennysten vaikutuksesta meren tilaan. Mallin rakenne on myös riittävän yksinkertainen toimiakseen taloudellisen optimoinnin työkaluna etsittäessä kustannustehokkaita toimenpiteitä rehevöitymisen torjuntaan Itämerellä. Mallilla voidaan ottaa huomioon satunnaisvaihtelua ravinnekuormissa ja meren tilassa, ja ratkaista luottamusvälejä meren tilan kehitykselle. Malli on kuvattu kokonaisuudessaan artikkelissa Ahlvik ym. (2012).

Merimallissa meri on jaettu seitsemään altaaseen, joista pääallas on jaettu vertikaalisti kahtia 60 metristä alkaen. Ennustukset meren tilan kehityksestä tuotetaan yhden vuoden aika-askeleella ja mallin rakenne on esitelty tarkemmin liitekuvassa A3. Malli ottaa huomioon altaiden tärkeimmät biokemialliset prosessit sekä veden ja ravinteiden vaihdon altaiden välillä ja sen rakenne on havainnollistettu liitekuvassa 3. Mallin keskeiset parametrit, fosforin hautautuminen ja denitrifikaatio, sekä näiden riippuvuus levä- ja sinileväbiomassoista on kalibroitu vuosien 1980-2000 havaitun datan perusteella.



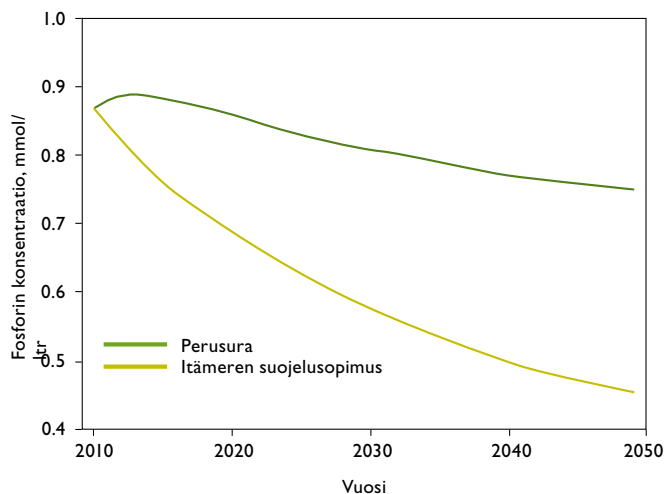
Liitekuva A3. Allastason merimallin rakenne, ja sen kuvaamat biokemialliset prosessit.

Mallin ennustustarkkuuden selvittämiseksi malliin syötettiin vuosien 2001 ja 2008 välisen ajanjakson havaitut kuormat, ja tutkittiin kuinka hyvin ennusteet vastasivat havaittuja typen ja fosforin pitoisuuksia. Mallin kyky tuottaa ennusteita todettiin hyväksi: noin 90 % havaituista arvoista osui 90 % luottamusvälin sisään, ja ennustetut odotetut pitoisuudet olivat lähellä havaittuja. Luottamusväli kasvoi kuitenkin suureksi Suomenlahdella sekä Tanskan salmissa, etenkin fosforin konsentraatioita ennustettaessa. Tämän lisäksi mallia verrattiin itämeren toimintaohjelman perustana olevaan Simple as Necessary Baltic Long Term Large Scale Eutrophication Model (SANBALTS) – malliin (Savchuk ja Wulff, 2007). Malleja ajettiin käyttämällä samoja ravinnekuormia ja alkupitoisuuksia, ja niiden antamia meren konsentraatioita verrattiin toisiinsa. SANBALTS-malli antaa tulokseksi meren tasapainotilan, eikä varsinaista aikauraa. Sen tuloksia verrattiin allastason mallin tasapainotilaan, joka oletettiin saavutettavaksi viimeistään vuonna 2400. Kuvassa 10 on molempien mallien tasapainotilan ravinnepitoisuudet, sekä allastason mallin antama keskihajonta, kullekin altaalle. Typen osalta allastason malli aliarvioi konsentraatioita hieman, etenkin Riianlahden osalta. Fosforipitoisuuksille mallien ennusteet osuvat hyvin lähelle toisiaan, joskin etenkin Riianlahdella allastason malli yliarvioi pitoisuuksia hieman. Kuitenkin suurin osa mallien ennusteista on allasmallin antaman luottamusvälin sisällä.



Liitekuva A4. Allastason mallin ja SANBALTS-mallin ennustamien ravinnepitoisuuksien vertailu, jossa virhepalkit kertovat tasapainotilan keskihajonnan

Allastason mallin avulla on mahdollista tutkia erilaisten kuormitusskenaarioiden vaikutusta Itämeren tilaan. Vaikuttavuus ravinnekuormitukseen on välttämätön askel kohti vedenlaadun paranemisesta saatavien hyötyjen arviointia. Liitekuva A5 esittää typen ja fosforin konsentraation (talvikausi) kehitystä perusuralle ja Itämeren toimintaohjelman mukaisille toimenpideohjelmilla Suomenlahdella. Ravinnepitoisuus on kääntymässä loivaan laskuun ilman uusia toimenpiteitä, mutta toimintaohjelmalla pitoisuus laskee huomattavasti.



Liitekuva A5. Demonstrointi perusuran ja Itämeren toimintaohjelman (BSAP) mukaisten ravinnekuormitusurien vaikutuksesta fosforipitoisuuteen Suomenlahdella

3D-merimallit meren tilan kuvauksessa

Itämeren rehevöityneisyytason kuvaamiseksi indikaattorin avulla (ks Liite 6) ei alustason mallin antama informaatio riitä. Liukoisten ravinteiden pitoisuuksien sekä kesäkauden leväbiomassan ja siitä johdettujen klorofyllipitoisuuksien laskentaan käytettiin kolmiulotteisia (3D) virtaus-kulkeutumismalleja, joihin kuuluu ekologinen laskentaosio. Kolmiulotteisen laskennan etuja ovat lisäksi tilallinen erotuskyky sekä tasossa että vertikaalisesti: jälkimmäisen avulla pystytään ottamaan huomioon pystysuuntaiset tiheyserot ja pystysuuntainen kulkeutuminen. Sovellettuja 3D-merimallien levien dynamiikkaa kuvaavat osiot ovat myös realistisempia ja sisältävät enemmän prosesseja kuin 1D-allasmallin.

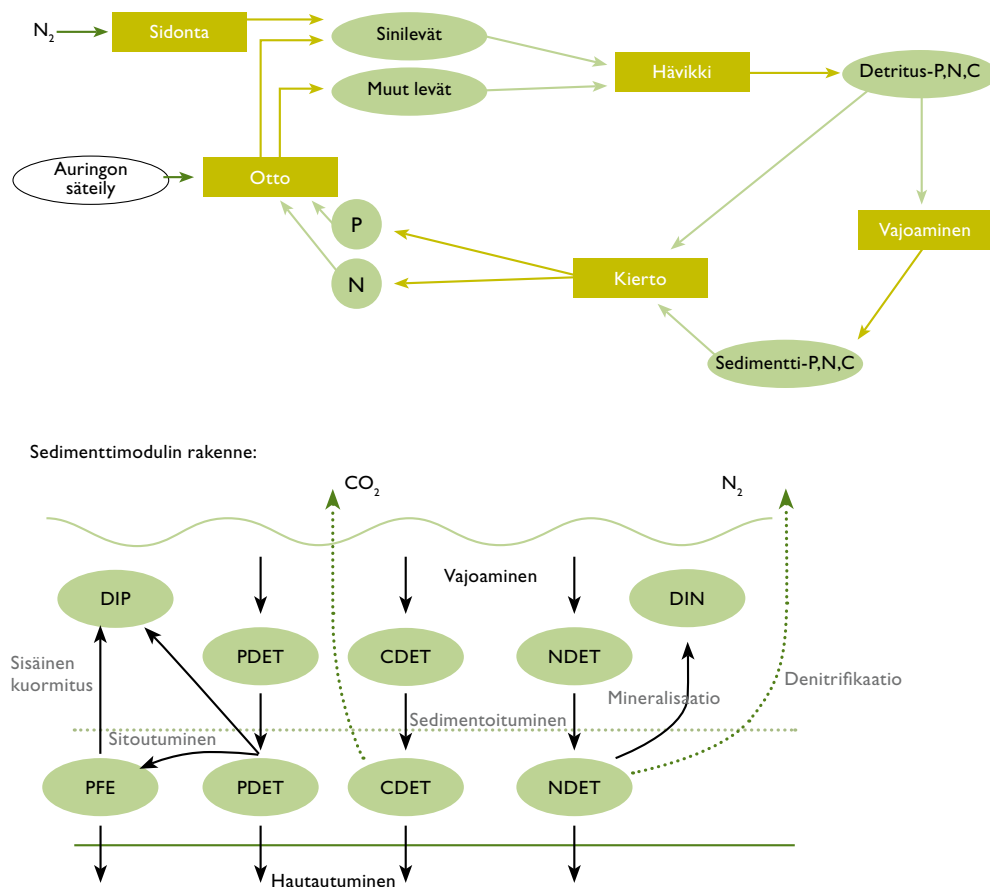
Työssä käytettiin Itämeren pohjoisosan kuvauksessa kolmiulotteista (3D) virtaus-kulkeutumismallia (ns. YVA-SYKE-malli; Virtanen ym. 1986, Koponen ym. 1992, Kiirikki ym. 2001, 2006), joka kuvaa meren virtausten ja kasviplanktonin kasvun vaikutusta ravinteiden (fosfori ja typpi) kiertoon meressä. Mallia käytettiin laskemaan ravinteiden, sinilevän kaltaisten levien ja muun kasviplanktonin määrää Itämeren eri merialueilla ei vuodenaikoina. Ekosysteemimalli sisältää huomattavia yksinkertaistuksia Itämeren ulappaekosysteemin toiminnasta. Pitkän ajan skenaarioiden laskemisessa yksinkertainen malli on käytännöllinen vaihtoehto, joka tarjoaa mahdollisuuden kohtuullisiin laskenta-aikoihin ja tarvittaessa uusinta-ajoihin, kun mallin antamia tuloksia tarkistetaan.

Mallin kehitystyössä painopistealueena kalibroinnin osalta on ollut Suomenlahti, mutta laskenta-alue sisältää myös Pohjanlahden, Riianlahden ja varsinaisen Itämeren Bornholmiin asti. Mallin horisontaalinen resoluutio on 5 km, ja syvyysuunnassa malli on jaettu 17 kerrokseen, joilla on vaihteleva paksuus. Pintakerrokset ovat 2 m paksuudeltaan, ja alin kerros ulottuu 150 m:stä maksimisyyvyiteensä (joka on laskennassa käytetyssä hilassa enimmillään 300 m). Aikaisempiin versioihin verrattuna sedimenttilaskennan osamallia on kehitelty, jonka tuloksena saavutetaan joustavampi kuvaus sedimentin ravinne-dynamiikasta.

Ekosysteemimalli on rakennettu virtaus-kulkeutumismallin tarjoaman peruslaskennan yhteyteen siten, että virtaus-kulkeutumismallin muuttujia ovat leville käytökelpoiset ravinteet ja eri leväryhmät. Meren ekosysteemin eri osatekijöiden väliset vuorovaikutukset ja riippuvuudet ulkoisista tekijöistä ovat monimutkaisia, ja käytetyssä mallissa niitä on käytännön syistä yksinkertaistettu: vain laskennan tuloksiin merkittävästi vaikuttavat tekijät on kuvattu virtaus-kulkeutumismalliin yhdistetyssä ekosysteemimalliosiossa. Mallissa käytetyistä kasviplanktonryhmistä toinen kuvaa kaikkien ilmakehän tyypeä sitovien sinilevien (syanobakteerit) kaltaista leväryhmää, joka on riippuvainen ainoastaan veden epäorgaanisesta fosforista. Toinen ryhmä edustaa kaikkea muuta kasviplanktonia, jonka kasvu perustuu veden epäorgaanisten ravinteiden varaan. Liitekuvassa A6 on esitetty ekologisen osamallin rakenne ja prosessit, mukaan lukien erillinen sedimenttimoduli.

Toinen meren tilamuutoksen laskennassa käytetty 3D-malli on tanskalaisten yhteistyökumppanien käyttämä ja edelleen kehittämä alueellinen meren ekosysteemimalli ERGOM. Mallia käytettiin Itämeren eteläosan kuvauksessa. Tämä ekosysteemimalli on jo monin verroin monimutkaisempi kuin YVA-SYKE-ekosysteemimalli, koska sii-

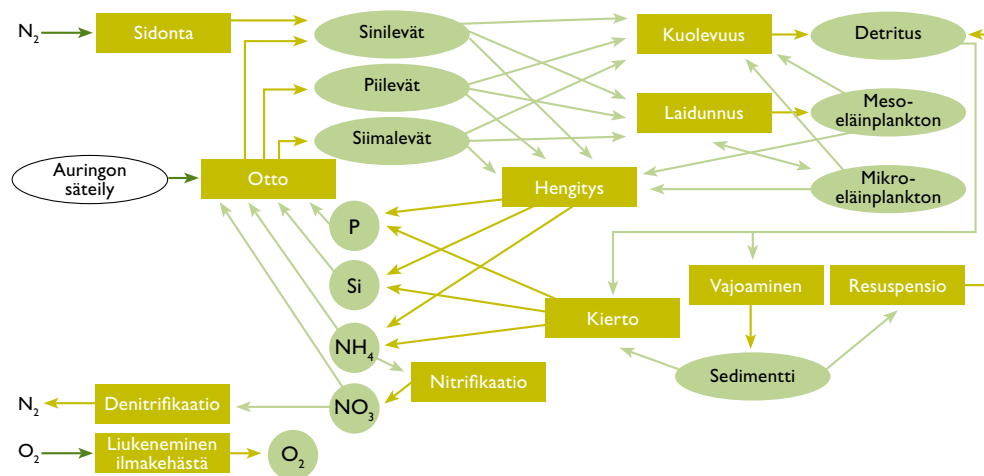
hen kuuluu lukuisia ulappa-ekosysteemin tilamuuttujia sekä useita ekosysteemin toimintaa kuvaavia prosessimuuttujia (vrt. liitekuva A7). Tämä malli kattaa alueellisesti myös Tanskan salmet, jotka eivät kuuluneet lähinnä Suomenlahden sovellutuksiin kehitetyn YVA-SYKE-mallin laskenta-alueeseen (ko. mallin laskenta-alueen läntinen reuna on Bornholmin kohdalla). Periaatteessa samat prosessit sisältyivät kumpaankin malliin, vaikka ne olivatkin ratkaistu eri tavoin mallin rakenteessa ja toiminnassa. Lisäksi samat tulosmuuttujat oli mahdollista laskea kummallakin mallilla, jolloin niiden tuloksia voitiin verrata sekä laajentaa alueellista kattavuutta.



Liitekuva A6. YVA-SYKE 3D-mallin biogeokemiallis-ekologisen osamallin rakenne. Tilamuuttujat (harmaanvireät ympyrät ja ellipsit) ovat kytkeytyneet toisiinsa ja ulkoisiin muuttujiin prosessien (suorakaiteet) kautta. N = typpi, N₂ = alkuainetyppi kaasufaasissa, P = fosfori, C = hiili, CO₂ = hiilidioksidi, DIN = liennut epäorgaaninen typpi, DIP = liennut epäorgaaninen fosfori, PFE = sedimentin rautayhdisteisiin sitoutunut fosfori, DET = detritus, kuollut orgaaninen kiintoaine. Prosessit ovat pääsääntöisesti lämpötilariippuvaisia.

Tietolaatikko 2: ERGOM mallin rakenne ja toiminta

ERGOM-malli sisältää kolme eri kasviplanktonryhmää (piilevät, siimalevät, sinilevät), kaksi eri eläinplanktonin kokoryhmää, kuollut kiintoaines vedessä, liennut happi sekä useita liuenneita mineraaliravinteita (nitraatti NO_3 , ammonium NH_4 , fosfaatti PO_4 , silikaatti SiO_2). Mallin kuvaamat prosessit ovat: ravinteiden otto, kasvu, laidunnus, kuolevuus, avovedessä ja sedimentissä tapahtuva aineiden kierto, soluhengitys, denitrifikaatio, nitrifikaatio, typensidonta kaasufaasista, sedimentaatio ja resuspensio (liitekuva A7). Tarkempi kuvaus ERGOM-mallista (Ecological Regional Ocean Model) löytyy julkaisuista: Neumann 2000, Neumann ym. 2002, Neumann ja Schernewski 2008; Maar ym. 2011).



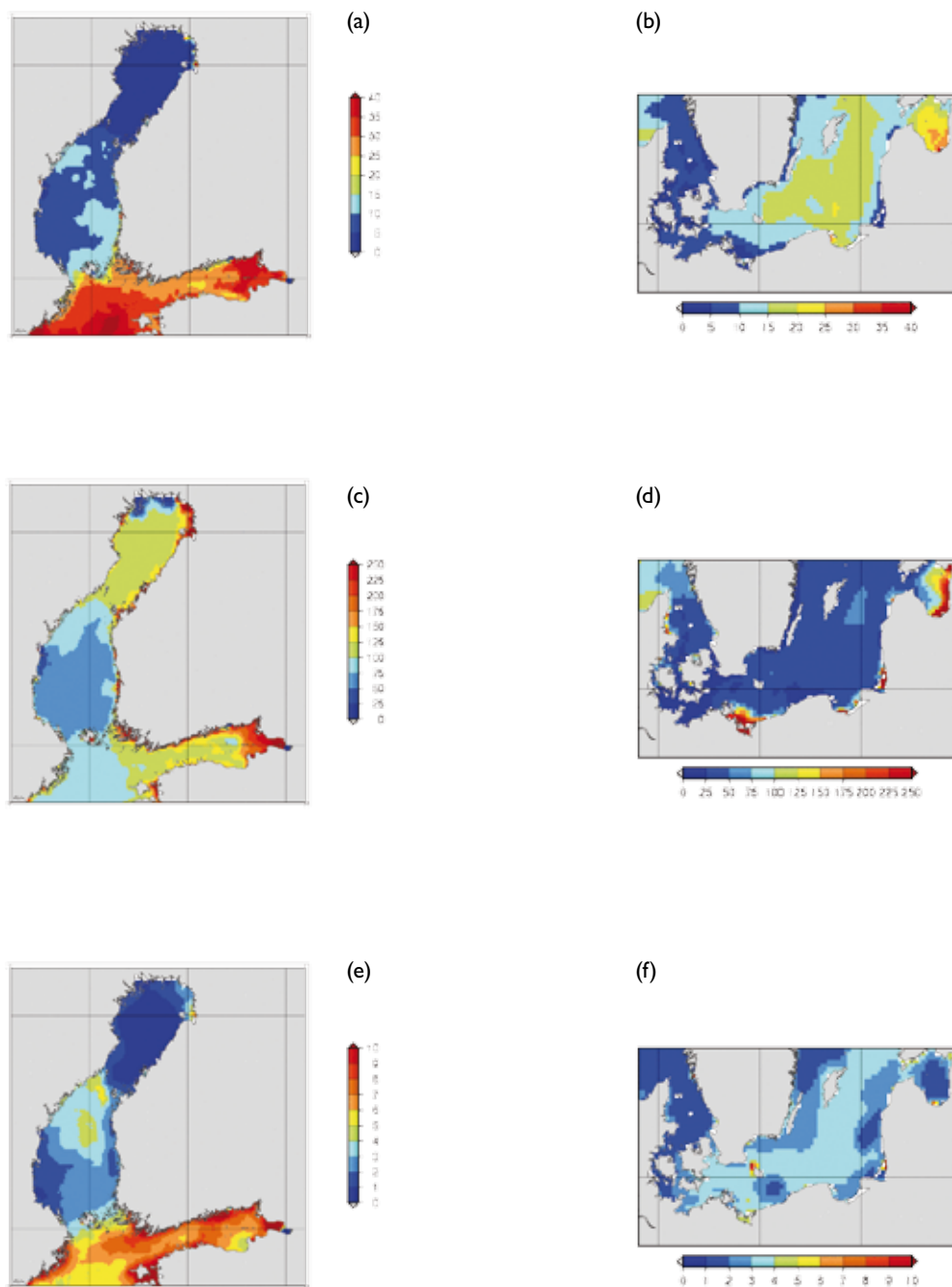
Liitekuva A7. II pelagisen tilamuuttujan ERGOM-mallin versio. Tilamuuttujat (harmaanvihreät ympyrät ja ellipsit) ovat kytkeytyneet toisiinsa ja ulkoisiin muuttujiin prosessien (suorakaiteet) kautta (vrt. Maar ym. 2011). Prosessit ovat pääsääntöisesti lämpötilariippuvaisia.

ERGOM-mallin mallinnusalue kattoi Pohjanmeren ja Itämeren alueen hilalla, jonka horisontaaliresoluutio oli 6 meripeninkulmaa, ja johon sisältyi kapeiden Tanskan salmien läpi tapahtuvien virtausten kuvaamiseksi tarpeellinen sisäkkäinen hila, jonka horisontaaliresoluutio oli 1 meripeninkulma. Vertikaalisesti malli käyttää koordinaatteja, jossa pintakerroksen korkeus on muuttuva vuorovesivaikutusten kuvaamiseksi. Kerrospaksuus vaihtelee eri hilamuodoissa ja eri syvyyksillä 1 m–155 m. Pintakerros on karkeammassa hilassa 8 m paksu ja hienommassa hilassa 2 m. Maksimisyvyys on Norjan syvänteessä, 666 m. ERGOM-mallin sovelluksella on avoimet reunat Englannin Kanaalissa ja pohjoisella Pohjanmerellä.

YVA-SYKE-malli on kalibroitu kahden intensiiviseurannan havaintoaseman aineistolla Suomenlahdelta: havaintopaikat ovat Haapasaari (itäisellä Suomenlahdella) ja Längden (läntisellä Suomenlahdella) (Tuomi ym., käsikirjoitus). Validointiaineistona oli dataa useilta havaintoasemilta Suomenlahdelta, Pohjanlahdelta, varsinaisen Itämeren pohjoisosasta sekä Riianlahdelta. ERGOM-malli on kalibroitu ja validoitu havaintoaineistoilla jotka ovat peräisin Kattegatista, Tanskan salmista ja varsinaisen Itämeren eteläosasta.

Edellä kuvatut 3D-mallit on laskennallisesti liitetty osa-allastason 1D-malliin (Ahlvik ym. 2012). Alkuarvot ja reunaehdot 3D-laskennassa muodostettiin skenaariotarkasteleissa 1D-mallin pitkän aikavälin laskentajakson (15 ja 40 vuotta) lopputilasta. Koska allastason mallin tilamuuttujina ovat ravinteiden kokonaispitoisuus, arvioitiin 3D-mallien vaatima liukoisten ravinteiden pitoisuudet laskennan lähtötilanteessa, olettaen että liukoisen fosforin ja typen suhteet ko. ravinteiden kokonaispitoisuuksiin pysyvät samoina kuin vuosituhannen vaihteessa kevättalvella vallinneessa tilanteessa. Mallien yhteydet osana PROBAPS-analyysin kokonaisuutta ilmenevät Liitteessä 1. Vastavälanlaista 1D-3D-yhdistelmää samaan tapaan käytettynä on aikaisemmin sovellettu Suomenlahteen (Pitkänen ym. 2007). PROBAPS-hankkeessa toteutettu sovellus on kuitenkin alueellisesti huomattavasti laajempi, poikkitieteellisesti syvemmin integroitu ja käytännön seurauksiltaan merkittävämpi (Dahlbo ym., käsikirjoitus). Esimerkkejä 3D-mallin tulokuvista on esitetty liitekuviissa A8 (a)-(f).

Kaikkeen mallinnukseen sisältyy epävarmuutta. Epävarmuus juontuu luonnollisesta vaihtelusta (esim. säätilan vaihtelut), mittausepävarmuudesta sekä epävarmuudesta mallin rakenteesta, toiminnasta ja parametriarvoista johtuen. Kaikkinainen epävarmuus voi kumuloitua kun laskenta-ajat ovat pitkiä. Epävarmuutta pyritään minimoimaan mm. mallin validoinnilla ja mallitulosten suhteuttamisella muuhun käytettävissä olevaan tietoon asiantuntija-arvioinnilla.



Liitekuva A8. Esimerkkejä 3D-mallien tulokuvista. YVA-SYKE 3D-mallilla arvioitu Itämeren pohjoisosan tila (v. 2001): (a) liuenneen epäorgaanisen fosforin pitoisuus kevättalvella (DIP), (c) liuenneen epäorgaanisen typen pitoisuus kevättalvella (DIN), sekä (e) klorofylli a:n pitoisuus kesäkuukausien keskiarvona. ERGOM 3D-mallilla arvioitu Itämeren eteläosan tila (v. 2001): (b) liuenneen epäorgaanisen fosforin pitoisuus kevättalvella (DIP), (d) liuenneen epäorgaanisen typen pitoisuus kevättalvella (DIN), sekä (f) klorofylli a:n pitoisuus kesäkuukausien keskiarvona.

Indikaattorit ja asiantuntija-arviot

Indikaattorit

Itämeren yleinen rehevöitymistaso kuvattiin soveltaen HELCOMin indikaattoripohjaista rehevöitymisen tilanarvion menetelmää, joka on tarkemmin kuvattu julkaisussa Andersen ym. (2011) sekä HELCOMin rehevöitymisen tilanarviossa (HELCOM 2009a). HELCOMin menetelmä pohjautuu indikaattorien nk. ydinsarjaan (Indicator Core Set), eli joukkoon keskeisiä ekologisia indikaattoreita, joiden on arvioitu yhdessä parhaiten hyödyntävän olemassa olevaa tietoa rehevöitymisen kokonaistilan kuvaamiseksi. Jokaisen indikaattorin tulee kuvata erityistä mitattavissa olevaa ympäristön ominaisuutta, joka reagoi positiivisesti tai negatiivisesti lisääntyvään rehevöitymiseen. PROBAPS-hankeessa käytettiin supistettua, kolmen tilamuuttujan indikaattorijoukkoa: liukoinen epäorgaaninen tyyppi, liukoinen epäorgaaninen fosfori ja a-klorofylli. Näin meneteltiin, koska kaikkia indikaattoreita, joita käytetään HELCOMin tilanarvio-välineessä ei voitu simuloida (kuten makrolevä- ja pohjaeläinindikaattorit).

HELCOMin käyttämille indikaattoreille on Itämeren piirissä yhteisesti määritelty merialuekohtainen viitearvo (Reference Value), joka kuvastaa ominaisuuden keskimääräistä tasoa merialueella silloin kun rehevöitymisvaikutus on erittäin vähäinen – käytännössä vastaten 1940-luvulla vallinnutta tilannetta. Viitearvosta yhteisesti määritellyn sallitun poikkeaman (Acceptable Deviation) avulla määrittyy hyvän tilan tavoitetaso (Target). HELCOMin tilanarvioissa indikaattoreille määritetään seurantatiedon perusteella merialuekohtainen nykyarvo (Status). Tässä työssä nykytila määritettiin ekologisten mallien avulla, jotta sitä voitaisiin verrata skenaarioiden perusteella tehtyjen simulaatioiden mahdollisiin tuleviin rehevöitymistiloihin.

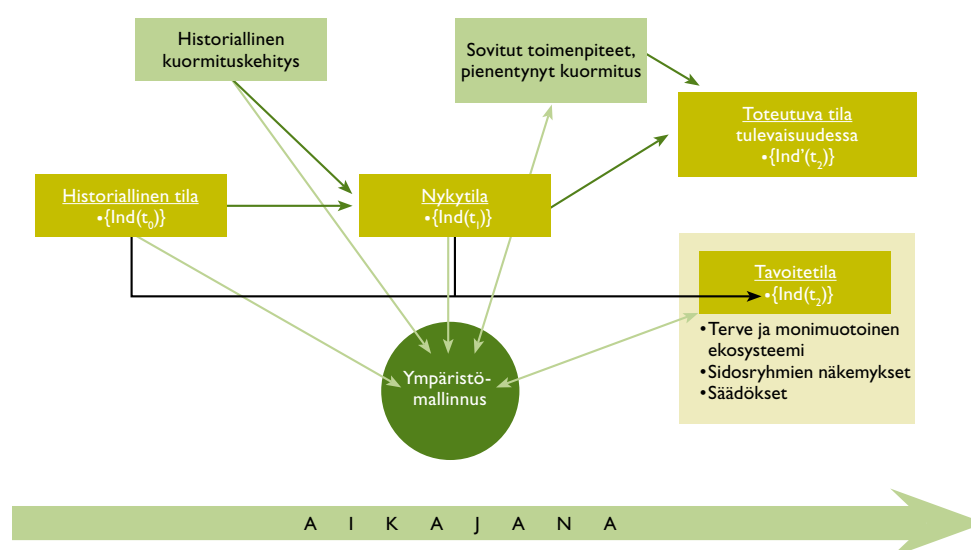
Jotta eri indikaattorien ja eri merialueiden nykytilat olisivat keskenään vertailukelpoisia ja yhtenevästi tilanarviossa hyödynnettäviä, käytetään tilan kuvaamisessa ekologista laatusuhdetta (Ecological Quality Ratio, EQR). Indikaattoreille jotka vastaavat positiivisesti lisääntyvään rehevöitymiseen (esim. alkukevään liukoinen epäorgaaninen tyyppi ja fosfori, kesän a-klorofylli) EQR on viitearvon ja nykyarvon välinen suhde, lisääntyvään rehevöitymiseen negatiivisesti vastaaville indikaattoreille (esim. näkösyvyys) EQR-suhde on käänteinen. EQR saa aina arvon nollan ja yhden välillä niin, että paras mahdollinen indikaattorin arvo on 1. Mikäli nykytila on niin hyvä, että EQR laskennallisesti on yli 1, määritellään se yhdeksi.

HELCOM arvioi kokonaisrehevöitymistä tilanarvio-välineellä (HEAT assessment tool), joka yhdistää ydinindikaattorisarjan EQR-tiedot tavalla joka parhaiten kuvastaa rehevöitymisen kokonaistilaa (HELCOM 2009a, Andersen ym. 2011). Indikaattorien painotuksen, ryhmittelyn, ja ryhmäkohtaisen 'yksi-ulos-kaikki-ulos' (one-out-all-out) -periaatteen soveltamisen tuloksena väline tuottaa merialuekohtaisen viisiasteikkaisen tilanarvion, jota voidaan kuvata sanallisesti (erinomainen – hyvä – kohtalainen – heikko – huono) ja kartoissa eri väreillä.

PROBAPS-analyysissa supistetun indikaattorijoukon käyttö johti siihen, että HEAT-välinettä ei käytetty sellaisenaan, vaan käytettiin kolmen indikaattorin painotettua keskiarvoa siten, että a-klorofyllin EQR-arvolle annettiin kaksinkertainen painoarvo liukoisen epäorgaanisen tyyppien ja fosforin EQR-arvoihin nähden. Siten klorofyllipitoisuuden EQR määrittelee 50 %, liukoisen epäorgaanisen tyyppien EQR 25 % ja liukoisen epäorgaanisen fosforin EQR 25 % yhdistetystä EQR-arvosta. Tämä keskiarvoistaminen on ero HEAT-periaatteeseen, joka merkitsee luokituksen määrittymistä huonoimman indeksimuuttujan mukaan.

Liitekuvassa A9 on esitetty kaavamaisesti rehevöitymisen vaikutusten analyysi ajassa, indikaattorimuuttujien (Ind) ja integroitujen mallien avulla. Indikaattorien

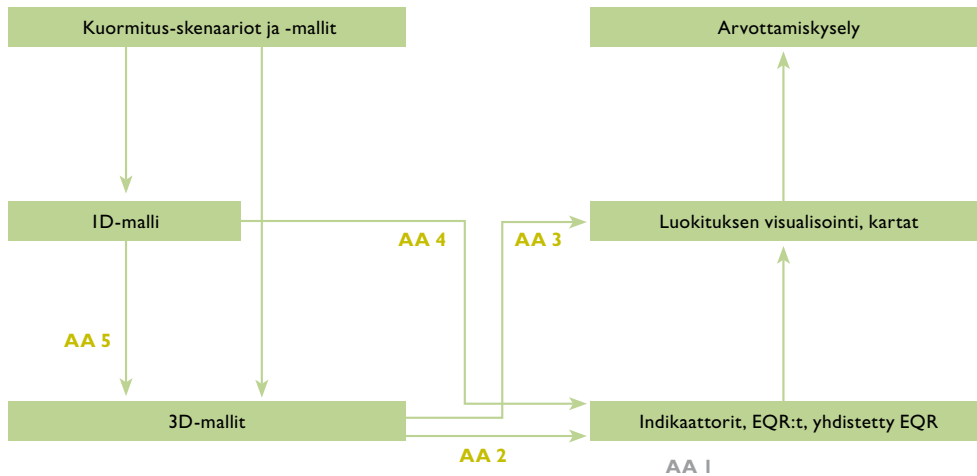
viitearvojen arvioinnissa on käytetty mm. historiallista dataa, sedimentologiaa, mallinnusta ja asiantuntija-arvioita. Sitä tilannetta kuvaa indikaattorien arvot hetkellä t_0 . *Nykytila* on mitattavissa ja mallinnettavissa (hetki t_1). *Toteutuva tila* ja *tavoitetilaa* (molemmat hetkellä t_2) voidaan verrata toisiinsa vasta tulevaisuudessa. Keskeinen kysymys on, muodostuuko sovitulla toimenpiteillä saavutettava Itämeren toteutunut tila tulevaisuudessa, esim. 40 vuoden päästä, sellaiseksi että se on riittävän lähellä tavoitetilaa. Tavoitetilan saavuttamiseen, riittäviksikin arvioitujen päästövähennyksien myötä, liittyy ekosysteemien dynamiikasta johtuvaa epävarmuutta (Sheffer ym. 2001, Duarte ym. 2009) muiden epävarmuuslähteiden lisäksi.



Liitekuva A9. Indikaattorit aikamuuttujina. Rehevöitymisen vaikutusten analyysi ajassa, indikaattorimuuttujien (Ind) ja integroitujen mallien avulla. Selitys tekstissä yllä. Mustat ja harmaavihreät nuolet edustavat informaatiota, vihreät nuolet syy-seuraussuhdetta.

Asiantuntija-arviot

Mallien tuloksia käytettiin asiantuntija-arvioinnin tukena alueellisen tilanarvion toteutuksessa. Lopullista arviota ei tehty suoraan mallien antamien laskennallisten tulosten pohjalta vaan käytettiin myös muuta informaatiota, kuten seurantatietoa ja pitkäaikaismuutosten tarkastelua.



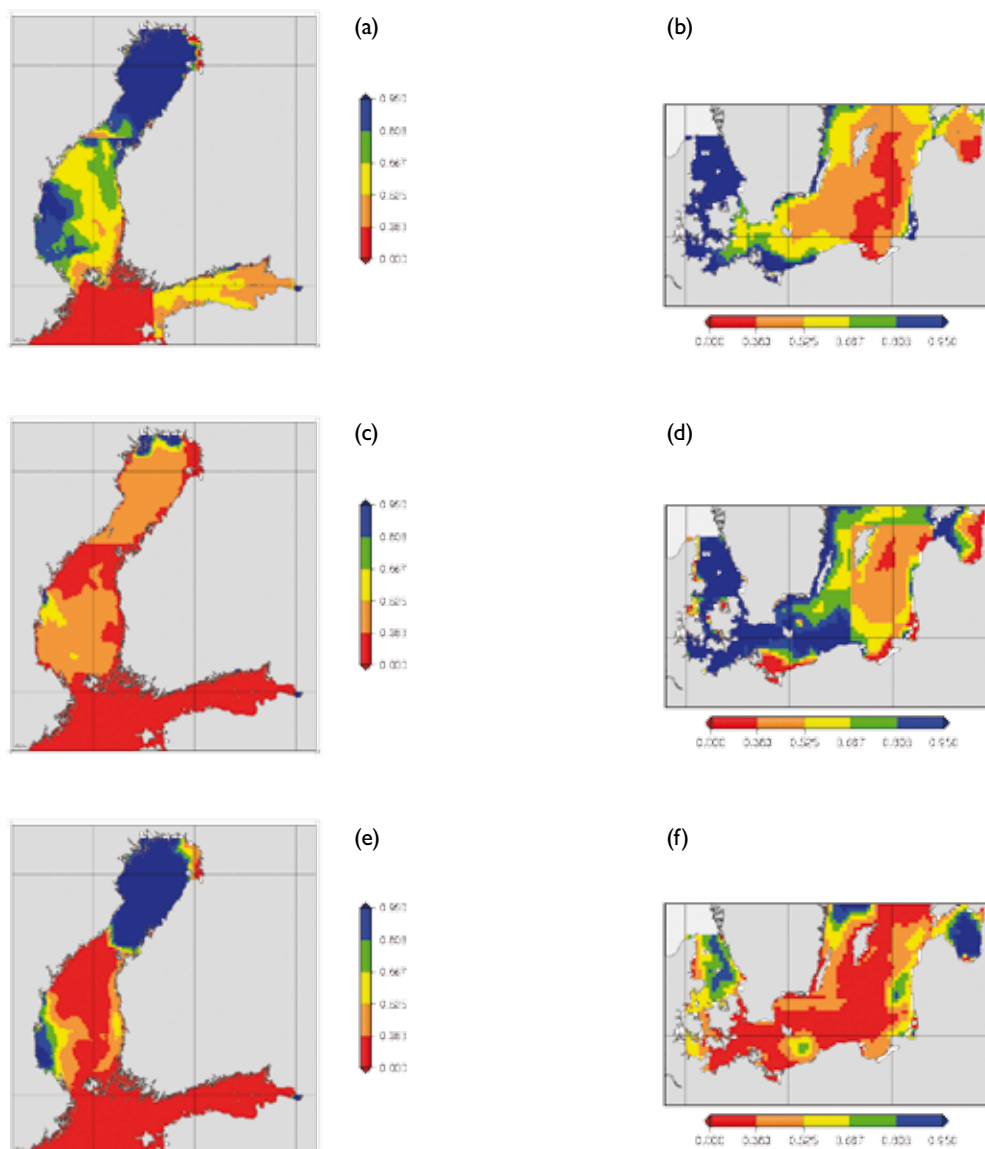
Liitekuva A10. Asiantuntija-arvion rooli ekologisen mallintamisen, indikaattoriarvioinnin ja tulosten esittämisen ketjussa. AA = asiantuntija-arviointi, selitys tekstissä.

Indikaattorien ja niiden raja-arvojen määrittely nojaa vahvasti asiantuntija-arvioihin (AA 1 liitekuvasa A10). Varsinaisessa PROBAPS-työssä asiantuntija-arviointi ja epävarmuustarkastelu olivat keskeisissä rooleissa määriteltäessä lopullista osallaskohtaista jakoa luokkiin tässä työssä sovelletun EQR-luokituksen tuloksiin nojautuen (AA 2-5 liitekuvasa A10). Arvioinnissa otettiin huomioon 1D- ja 3D-laskennan tulokset, kaikkien sovellettujen mallien (1D-malli ja kaksi 3D-mallia) käyttäytymisen, rakenteelliset ja laskennalliset luotettavasti toimivat piirteet – ja toisaalta ne tunnetut vähemmän tyydyttävät ominaisuudet, joita on aikaisemmissa sovelluksissa identifioitu, sekä kalibrointialueiden rajoittuneisuus, kuormituspoikkeamat jne. YVA-SYKE-mallin kohdalla erityiskysymyksenä on mallin liiallisesta vertikaalisesta sekoittumisesta johtuvat epärealistisen korkeat ravinnepitoisuudet (erityisesti liukoisien epäorgaanisen fosforin pitoisuudet) Itämeren pääaltaan sekä Riianlahden tuottavassa pintakerroksessa (vrt. liitekuva A8). Tämän vuoksi varsinaisen Itämeren osalta EQR perustui pääasiallisesti 1D-mallin sekä ERGOM-mallin tuloksiin. Suomenlahden ja Pohjanlahden osalta YVA-SYKE-mallin on arvioitu tuottavan suoraan käyttökelpoisia tuloksia.

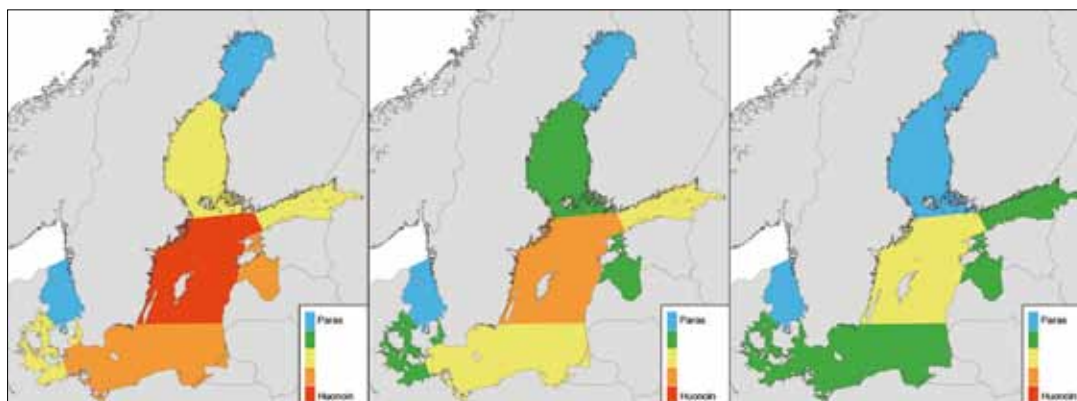
Luokitus ja tulokartat sekä rehevöityneisyystasojen kuvaus

Luokitus ja tulokartat

Liitekuvasa A11 on esitetty esimerkkejä 3D-mallien tuloksista syntyneistä EQR-muuttujien viisiluokkaisista jakaumista. Liukoisen fosforin ja liukoisen typen sekä klorofylli a:n pitoisuusjakaumista syntyy vastaavia EQR-jakaumia, jossa EQR-muuttujan arvot ovat välillä 0 ... 1.



Liitekuva A11. Esimerkkejä 3D-mallien tuloksista syntyneistä EQR-muuttujien jakaumista. YVA-SYKE 3D-mallilla arvioitu Itämeren pohjoisosan tila (v. 2001): (a) liuenneen epäorgaanisen fosforin pitoisuuksista johdettu EQR kevättalvella, (c) liuenneen epäorgaanisen typen pitoisuuksista johdettu EQR kevättalvella, sekä (e) klorofylli a:n pitoisuuksista johdettu EQR kesäkuukausien keskiarvona. ERGOM 3D-mallilla arvioitu Itämeren eteläosan tila (v. 2001): (b) liuenneen epäorgaanisen fosforin pitoisuuksista johdettu EQR kevättalvella, (d) liuenneen epäorgaanisen typen pitoisuuksista johdettu EQR kevättalvella, sekä (f) klorofylli a:n pitoisuuksista johdettu EQR kesäkuukausien keskiarvona.



Liitekuva A12. Vaihtoehtoisia arvioita skenaarioiden perusteella muodostetuista Itämeren rehevöitymistilanteen alueellisesta jakautumisesta 5-portaisella asteikolla, jossa punainen edustaa huonointa ja sininen parasta tilaa. Kukin kartta edustaa eri toimenpideohjelmien mahdollisia vaikutuksia: vasemmalla perusura, keskellä puolet ja oikealla kaikki Itämeren toimintaohjelman (BSAP) tavoitteet täyttävän skenaarion mukainen rehevöitymistila v. 2050.

Asiantuntija-arvion lopputuloksena tehtiin arviot luokituksista, jotka esitettiin karttakuvina: esim. liitekuvasa A12 eri skenaarioihin pohjautuvien kuormitusvaihtoehtoihin ja merimallien avulla simuloitu Itämeren tila vuonna 2050 kuvattuna 5-portaisella asteikolla. Maksuhaluuskyselyssä käytettiin näitä simuloituja karttakuvia kuvaamaan eri toimenpiteiden mahdollisia vaikutuksia ja niistä saatavia hyötyjä kuten vedenlaadun paranemista hoitotoimiin investoimisen seurauksena. Karttakuvien rinnalla oli käytössä verbaalinen tulkinta EQR-luokkien merkityksestä (ks. seuraava kohta *Rehevöityneisyystasojen kuvaus*).

Rehevöityneisyystasojen kuvaus

Itämeren rehevöitymistaso luokiteltiin HELCOMin EQR-luokituksen mukaan viiteen luokkaan: erinomainen (high), hyvä (good), tyydyttävä (moderate), välttävä (poor) ja huono (bad) (Andersen ym. 2011). Arvottamiskyselyä varten rehevöitymisen vaikutukset kuvattiin viiden ekosysteemin ominaisuuden kautta, joita olivat veden kirkkaus, sinileväkukintojen esiintyminen, vedenalaiset niityt, kalalajisto ja meren syvät alueet. Tarkoituksena oli antaa kyselyn vastaajille selkeä käsitys rehevöitymisen seurauksista.

Aluksi luotiin yksityiskohtainen kuvaus rehevöitymiseen liittyvistä muutoksista ekosysteemin ominaisuuksissa perustuen olemassa olevaan tietoon (liitetaulukko A9). Vaikutukset kuhunkin ominaisuuteen kuvattiin viisiportaisella asteikolla. Samalla oletettiin, että muut kuin rehevöitymisen aiheuttamat ympäristövaikutukset eivät muutu, myös niissä tapauksissa, joissa ekosysteemiin voivat samaan aikaan vaikuttaa sekä rehevöitymiseen liittyvät että siitä riippumattomat tekijät. Jokaista viittä luokkaa ei kaikissa tapauksissa pystytty yhdistämään tarkalleen HELCOMin rehevöitymisluokitukseen tiedonpuutteiden vuoksi. Erityisesti äärimmäiset luokat (erinomainen ja huono) pyrittiin kuitenkin kunkin ominaisuuden osalta liittämään HELCOMin luokitukseen mahdollisimman hyvän vastaavuuden takaamiseksi.

Arvottamiskyselyssä käytetty kuvaus rehevöitymisen tasoista (liitetaulukko A10) yleistettiin yksityiskohtaisemman kuvauksen (liitetaulukko A9) perusteella. Päämääränä oli aikaansaada kuvaus, joka 1) sopii koko Itämeren alueelle, 2) esittää selkeät ja helpottajaiset erot luokkien välillä ja 3) on ymmärrettävä erilaisille väestöryhmille koko Itämeren alueella.

Liitetaulukko A9. Yksityiskohtainen kuvaus rehevöitymisen aiheuttamista muutoksista

Veden kirkkaus ja väri	Sinileväkukinnat	Vedenalaiset niityt	Kalayhteisö	Syvän veden pohjat
<i>Erinomainen</i> – Vesi on kirkasta ja harvoin vihreää. Avomeren tuntumassa pohjan voi nähdä yli 8 m syvyydessä.	<i>Erinomainen</i> – Sinilevää näkyy harvoin pinnassa ja se muodostaa harvoin tiheitä pintakukintoja.	<i>Erinomainen</i> – Meriajokas ja muut monivuotiset kasvit muodostava yhtenäisiä niittyjä jotka tarjoavat suojaa runsaalle selkärangattomien yhteisölle. Kasvien juurelle kerääntyy hieman sedimenttiä. Niitty tarjoaa hyvän ravinto- ja kutualueen useille kalalajeille.	<i>Erinomainen</i> – Kalayhteisö on monilajinen. Turska, silakka ja ahven ovat yleisiä (Pohjoinen Itämeri).	<i>Erinomainen</i> – Syvillä pohjilla saattaa esiintyä veden kerrostumisesta johtuvaa happivajetta, mutta pohja-eläinyhteisö on monipuolinen ja sen palautumiskyky on hyvä.
<i>Hyvä</i> – Vesi on enimmäkseen kirkasta ja harvoin vihreää. Avomeren tuntumassa pohjan voi nähdä 4-6 m syvyydessä.	<i>Hyvä</i> – Sinilevää näkyy ajoittain pinnassa mutta se ei yleensä muodosta tiheitä pintakukintoja.	<i>Hyvä</i> – Vedenalaisissa niityissä on aukkoja, joissa kasvaa vähäisessä määrin rihmaleviä. Niityt tarjoavat yhä suojan runsaalle selkärangattomien yhteisölle, ja toimivat kalojen ravinto- ja kutualueena.	<i>Hyvä</i> – Kalayhteisö on monilajinen. Turska, silakka ja ahven ovat yleisiä (Pohjoinen Itämeri).	<i>Hyvä</i> – Orgaanisen aineen määrä pohjasedimentissä alkaa lisääntyä, lyhyitä hapettomuuden jaksoja voi esiintyä. Ravinnon lisääntyminen johtaa pohjaeläinten määrän ja biomassan kasvuun
<i>Tyydyttävä</i> – Vesi on melko sameaa ja usein vihertävää. Avomeren tuntumassa pohjan voi nähdä 4-6 m syvyydessä.	<i>Tyydyttävä</i> – Sinilevä muodostaa tiheitä pintakukintoja useimpina kesinä, joskus laajoilla alueilla.	<i>Tyydyttävä</i> – Meriajokas ja muut monivuotiset kasvit muodostavat laikuttaisia niittyjä. Kasvien juurelle kasaantuu runsaasti sedimenttiä, mikä johtaa selkärangattomien biomassan kasvuun. Kasvien pinnalla kasvaa kiinnittyneenä rihmaleviä.	<i>Tyydyttävä</i> – Kalayhteisössä on tapahtunut muutoksia. Turskan lisääntyminen on kärsinyt kutualueen happitilanteen huononemisesta. Särkikalat ovat lisääntyneet (Pohjoinen Itämeri).	<i>Tyydyttävä</i> – Orgaanisen aineen määrä pohjasedimentissä on lisääntynyt ja hapenkulutus sedimentissä on noussut. Pohjaeläinyhteisö muuttuu, kun herkäät lajit vähenevät ja kestävätkin lisääntyvät. Yksilömäärä on lisääntynyt, joskin biomassaa saattaa vähentyä.
<i>Välttävä</i> – Vesi on sameaa, keväällä ja kesällä usein vihertävää. Avomeren tuntumassa pohjan voi nähdä 2-4 m syvyydessä.	<i>Välttävä</i> – Sinilevä muodostaa tiheitä pintakukintoja käytännössä joka kesä, joskus laajoilla alueilla.	<i>Välttävä</i> – Meriajokas kasvaa hajanaisina laikkuina, keräten runsaasti sedimenttiä ympärilleen. Kasvillisuutta peittää runsas rihmaleväkasvusto. Selkärangattomien lajisto on köyhtynyt, mutta niiden määrä voi olla korkea, joskin vaihtelut ovat suuria.	<i>Välttävä</i> – Kalayhteisö on köyhä. Turska on vähentynyt kutualueen huonon happitilanteen vuoksi. Ahven ei ole yleinen, särkikalat ovat lisääntyneet. Silakka kärsii veden sameenemisesta ja kutualueiden vähenemisestä (Pohjoinen Itämeri).	<i>Välttävä</i> – Meren pohja on hapeton pitkiäkin jaksoja. Orgaanisen aineen määrä sedimentissä on kasvanut huomattavasti. Vain kestävimmat pohjaeläinlajit selviävät. Lajiston köyhtyminen, yksilömäärien pieneneminen ja biomassan väheneminen vaikuttaa heikentävästi ekosysteemin toimintaan.
<i>Huono</i> – Vesi on sameaa ja usein vihertävää. Avomeren tuntumassa pohja harvoin näkyy yli 2 m syvyydessä.	<i>Huono</i> – Sinilevä muodostaa tiheitä pintakukintoja laajoilla alueilla joka kesä.	<i>Huono</i> – Niittyjen paikalla on sedimentoitunutta orgaanista ainetta, irrallisia kasveja ja rihmalevää. Kasvillisuus koostuu yksittäisistä rihmalevien ja piilevien peittämistä monivuotisista kasveista tai massiivisista rihmaleväkasvustoista. Selkärangattomien lajisto on köyhä, mutta niiden määrä voi olla korkea, joskin vaihtelut ovat suuria.	<i>Huono</i> – Kalayhteisö on köyhä. Ahven ei ole yleinen, turska on harvinainen. Silakka kärsii kutualueiden vähenemisestä sekä turskan vähenemisen aiheuttamista ravintoverkkomuutoksista. Särkikalat ovat lisääntyneet pysyväisluontoisesti (Pohjoinen Itämeri).	<i>Huono</i> – Pohjissa esiintyy vakavaa happivajetta ja laajalle levinnyttä hapettomuutta. Isot pohjaeläimet ovat kadonneet. Pohjan pöyhminen (bioturbaatio) on loppunut, mikä voi johtaa sedimentin kerrostuneisuuteen (laminaatio). Pohjayhteisön palautuminen on heikkoa ja tapahtuu viiveellä.
<i>Viite:</i> Fleming-Lehtinen ja Laamanen 2012	<i>Viitteet:</i> Hansson, M. ja Öberg, J. 2010; M. Viitasalo, henk. koht. tiedonanto	<i>Viitteet:</i> HELCOM 2009b; Kirsi Kostamo, henk.koht. tiedonanto	<i>Viitteet:</i> Lappalainen ym. 2000; Uusitalo ym. 2011; Antti Lappalainen ja Heikki Peltonen, henk.koht. tiedonannot	<i>Viitteet:</i> Pearson ja Rosenberg 1978; Rumohr ym. 1996; Villnäs ja Norkko 2011; Anna Villnäs ja Alf Norkko, henk.koht. tiedonannot

Liitetaulukko A10. Arvottamiskyselyssä esitetty yleistajuinen kuvaus rehevöitymisen vaikutuksista

Rehevöitymisen vaikutusten kuvaus						
Veden laatuluokka	Veden kirkkaus	Sinileväkukintojen esiintyminen	Vedenalaiset niityt	Kalalajisto	Meren syvät alueet	Veden laatuluokka
Paras veden laatu	Kirkas	Harvoin	Erinomaisessa kunnossa Hyviä kalojen ravinto- ja kutupaikkoja	Turska, silakka ja ahven yleisiä	Ei happivajetta Pohjaeläimet yleisiä	Paras veden laatu
	Enimmäkseen kirkas	Joskus	Kattavat laikuitaisia alueita Hyviä kalojen ravinto- ja kutupaikkoja	Turska, silakka ja ahven yleisiä	Happivajetta laajoilla alueilla Pohjaeläimet yleisiä	
	Jossain määrin samea	Useimpina kesinä	Kattavat pienen alueen Heikompia kalojen kutupaikkoja	Vähemmän turskaa, mutta silakka ja ahven yleisiä Enemmän särkikaloja	Happikatoa usein laajoilla alueilla Jotkin pohjaeläimet harvinaisia	
	Samea	Joka kesä	Kattavat pienen alueen Huonoja kalojen kutupaikkoja	Vähemmän turskaa, silakkaa ja ahventa Särkikalat runsastuneet	Happikatoa usein laajoilla alueilla Jotkin pohjaeläinryhmät hävinneet	
Huonoin veden laatu	Erittäin samea	Joka kesä laajoilla alueilla	Lähes hävinneet Eivät kelpaa kalojen kutupaikoiksi	Hyvin vähän turskaa, vähän silakkaa ja ahventa Paljon särkikaloja	Happikatoa aina laajoilla alueilla Monilla alueilla ei pohjaeläimiä	Huonoin veden laatu

Rehevöitymisen torjunnan hyödyt

Ehdollisen arvottamisen menetelmä

Tarve arvottaa ympäristön tilassa tapahtuvia muutoksia rahamääräisesti syntyy, kun halutaan verrata ympäristön, tässä tapauksessa Itämeren, tilan parantamisesta saatavia hyötyjä siitä syntyviin kustannuksiin. Monesti ympäristön tilassa tapahtuvien muutosten arvoa ei voida päätellä hintojen tai markkinoiden avulla. Ympäristötaloustieteessä onkin kehitetty taloudellisia arvottamismenetelmiä, joilla voidaan arvioida ympäristön tilassa tapahtuvien muutosten rahallista arvoa (Champ ym. 2003). Ympäristön arvottaminen perustuu ympäristötaloustieteessä arvoon, jonka ihmiset antavat ympäristön tilan muutokselle. Ympäristölle ei siis voida näillä menetelmillä arvioida itseisarvoa, vaan ainoastaan ihmisen sille määrittämä arvo, joka perustuu ympäristöstä saataviin aineellisiin tai aineettomiin hyötyihin.

Ehdollisen arvottamisen menetelmä (eng. contingent valuation, CV) on yksi käytetyimmistä ympäristötaloustieteen arvottamismenetelmistä (ks. esim. Carson ja Hane-mann 2005 tai Alberini ja Kahn 2006). Menetelmässä kansalaisilta kysytään suoraan heidän maksuhalukkuuttaan ympäristön tilan muutoksesta huolellisesti suunnitellun kyselytutkimuksen avulla. Maksuhalukkuus kuvaa hyötyjä, joita kansalaiset kokevat ympäristön tilan parantumisesta (ks. esim. Ahtiainen 2012). Ehdollisen arvottamisen etuihin kuuluu se, että sillä voidaan arvioida sellaistenkin ympäristömuutosten arvoa, jollaisia ei ole aiemmin koettu. Lisäksi menetelmällä kyetään arvioimaan hyödykkeen käytöstä riippumattomia niin sanottuja olemassaoloarvoja, joita on muilla tavoin vaikea saada selville. Ehdollisen arvottamisen menetelmän käyttö vaatii huolellista suunnittelua. Kyselytutkimuksissa on tärkeää, että vastaajat edustavat arvioitavaa väestöä, ymmärtävät kysymykset halutulla tavalla ja ovat valmiita vastaamaan kysymyksiin totuudenmukaisesti.

Arvottamiskysely ja maksuhalukkuuskysymys

Arvottamistutkimuksessa käytetty kysely suunniteltiin yhteistyössä kaikkien Itämeren rannikkovaltioiden kesken. Pää tavoitteena oli arvioida HELCOMin Itämeren suojelun toimintaohjelman (BSAP) tavoitteiden mukaisen rehevöitymisessä tapahtuvan muutoksen arvoa Itämeren alueen kansalaisille. Kyselyn suunnittelussa ja toteuttamisessa seurattiin arvottamistutkimuksissa hyväksi havaittujen ja hyvän kyselytavan mukaisia menetelmiä (Dillman ym. 2009), jotta kyselystä saatava informaatio olisi mahdollisimman laadukasta ja käyttökelpoista tutkimukseen.

Identtiset kyselyt toteutettiin kaikissa Itämeren maissa vuoden 2011 loppupuolella. Tanskassa, Virossa, Suomessa, Saksassa ja Ruotsissa käytettiin internet-paneeleita ja Latviassa, Liettuassa ja Venäjällä henkilökohtaisia haastatteluita. Vastaajien määrä vaihteli 500 ja 2000 välillä (liitetaulukko A11). Suomessa kyselyyn vastasi 1645 ihmistä, ja yhteensä tehtiin 10564 haastattelua. Vastausprosentit vaihtelivat hieman yli 30 %:sta lähes 70 %:iin. Henkilökohtaisilla haastatteluilla vastausprosentit olivat internet-kyselyitä korkeampia. Menetelmä ja kyselyn toteutus on kuvattu tarkemmin julkaisussa Ahtiainen ym. (2012b).

Maksuhalukkuuden selvittämiseksi vastaajia pyydettiin vertaamaan kahta Itämeren rehevöitymisen tilaa vuonna 2050: ns. perusuraa eli tilaa ilman lisätoimenpiteitä, ja parempaa tilaa, jossa rehevöityminen vähenee lisätoimenpiteitä tekemällä. Vastaajille kerrottiin lisätoimenpiteiden olevan lannoitteiden käytön vähentäminen, yhdyskuntajätevesien puhdistuksen tehostaminen ja fosfaatittomiin pesuaineisiin vaihtaminen.

Kyselyssä rehevöitymisen tila Itämerellä vuonna 2050 kuvattiin kartoilla (ks. liitekuva A12). Kartat perustuivat meren tilan mallinnukseen (Ahlvik ym. 2012), jonka

Maa	Vastanneiden määrä	Vastausprosentti
Tanska	1061	38,2
Viro	505	42,1
Suomi	1645	39,4
Saksa	1495	32,5
Latvia	701	45,0
Liettua	617	60,5
Puola	2029	36,0
Venäjä	1508	69,3
Ruotsi	1003	34,0

mukaan Itämeren toimintaohjelman (BSAP) tavoitteiden mukainen tila voitaisiin saavuttaa aikaisintaan 40 vuoden kuluttua. Karttojen avulla rehevöitymisen kehitys kyettiin esittämään vastaajille helposti ymmärrettävällä tavalla. Jokaiselle vastaajalle esitettiin kaksi erilaista vertailutilannetta, joista ensimmäisessä verrattiin perusuraa ja puolet HELCOMin Itämeren toimintaohjelman tavoitteista saavuttavaa skenaariota (osittainen BSAP), ja toisessa perusuraa ja koko Itämeren toimintaohjelman tavoitteet saavuttavaa skenaariota (BSAP). Kunkin karttaparin jälkeen vastaajilta kysyttiin maksuhalukkuutta Itämeren tilan parantamisesta kartoilla esitetyn mukaisesti. Maksun esitettiin tulevan kaikille Itämeren kansalaisille ja yrityksille erityisen Itämeri-veron muodossa. Vastaaja ilmoitti maksuhalukkuutensa valitsemalla yhden 20 vastausvaihtoehdosta, joihin kuuluivat myös vaihtoehdot 0 euroa ja *en osaa sanoa*. Maksuhalukkuuskysymysten lisäksi vastaajilta selvitettiin heidän näkemyksiään ja asenteitaan Itämerta ja siellä virkistäytymistä kohtaan.

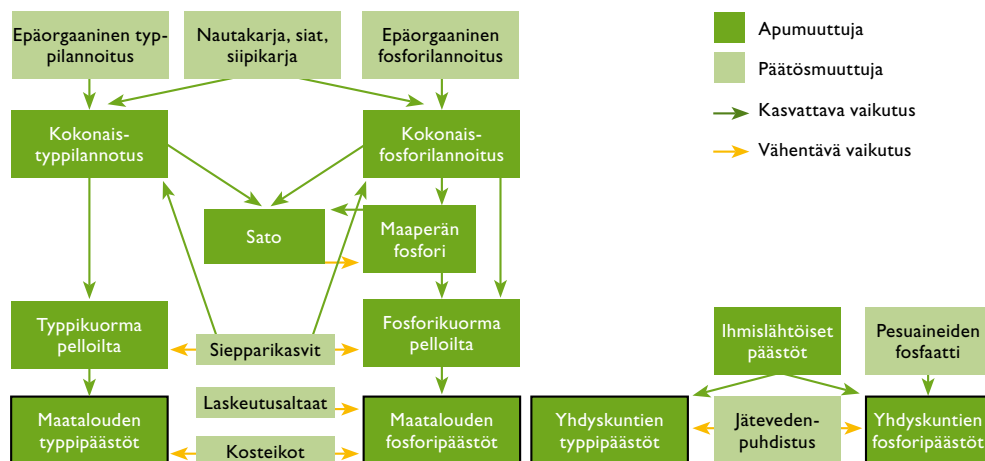
Rehevöitymisen tilan ja karttojen pohjatietona käytettiin Itämeren ravinnekuormituksen tulevan kehityksen arvioita ja meren tilaa kuvaavia malleja. Ensimmäisessä vaiheessa meren tilaa mallinnettiin allastason mallilla (Ahlvik ym. 2012), joka kykenee arvioimaan Itämeren ravinnetilaa pitkällä aikavälillä, tässä tapauksessa vuosina 2010 – 2050 (ks. liite 4). Tämä malli tuotti lähtötiedot toisen vaiheen mallinnukseen, jossa käytettiin tarkempaa biogeokemiallista mallinnusta (ks. liite 5). Toinen vaihe tuotti yksityiskohtaista tietoa rehevöitymisen kehittymisestä käyttäen ensimmäisen vaiheen ennustetta Itämeren ravinnetasosta. Toisessa vaiheessa käytettiin kahta biogeokemiallista mallia: EIA-SYKE3D mallia (Virtanen ym. 1986, Koponen ym. 1992, Kiirikki ym. 2001, 2006) ja ERGOM-mallia (Ecological Regional Ocean Model) (Maar ym. 2011, Neumann 2000, Neumann ym. 2002, Neumann ja Schernewski 2008).

Toisen vaiheen merimalli tuotti usean rehevöitymistä kuvaavan indikaattorin avulla yhden, rehevöitymisen tilaa kuvaavan indikaattorin. Tämä indikaattori, EQR (Ecological Quality Ratio) kuvaa meren rehevöitymisen nykytilaa suhteessa tieteilisestisesti sovitettuun referenssitilaan, eli tilaan jossa meri olisi luontaisessa tilassaan (ks. liite 6). Indikaattorille määriteltiin HELCOMin luokittelun mukaisesti viisi tilaa: erinomainen, hyvä, tyydyttävä, välttävä ja huono (Andersen ym. 2011). Jokaiselle rehevöitymisen tasolle määritettiin vastaava värikoodi, joka avattiin vastaajille kyselyssä käyttäen viittä erillistä ekosysteemin tilaa kuvaavaa ominaisuutta: veden kirkkaus, sinileväkukintojen esiintyminen, vedenalaisten niittyjen tila, kalalajiston koostumus ja meren syvien alueiden happitilanne (ks. liitetaulukko A10). Jokainen ekosysteemin tilaa kuvaava ominaisuus ja sen tila eri rehevöitymisen tasoilla selitettiin vastaajille yleisesti niin, että selitykset pätivät koko Itämeren alueella riippumatta vastaajan kotimaasta. Rehevöitymisen tilaa kuvaavia värejä hyödynnettiin kartoilla esittämään meren tilassa tapahtuvaa muutosta luokasta toiseen.

Kustannustehokkaat toimintasuunnitelmat rehevöitymisen vähentämiseksi

Kuormitusvähennystoimien analysoimiseksi allastason malliin (ks. liite 4) liitettiin tiedot kahdeksan eri toimenpiteen vaikuttavuudesta ja yksikkökustannuksista. Mallin avulla voidaan arvioida annettujen toimenpideyhdistelmien maakohtaisia kustannuksia tai ratkaista resurssien tehokas käyttö eri toimenpiteiden ja maantieteellisten kohteiden välillä. Mallin matemaattinen rakenne, sekä siinä käytetty aineisto esitetään tarkemmin Ahlvin ja Hyytiäisen (2012) julkaisussa.

Itämeren valuma-alue on mallissa jaettu 23 osaan siten, että kunkin maan ja meren altaan yhdistelmä on oma alueensa (ks. kuva 2). Malli simuloi typpi- ja fosforikuormaa kustakin valuma-alueesta Itämereen vuoden aika-askeleella millä tahansa annetulla toimenpideyhdistelmällä. Toimenpiteet on jaettu kahteen luokkaan sen mukaan, vaikuttavatko ne maatalouden vai yhdyskuntien ravinnekuormaan, ja nämä toimenpiteet vuorovaikutuksineen on esitelty liitekuvasa A13. Maatalouden toimenpiteisiin kuuluu epäorgaanisen typpi- ja fosforilannoituksen vähentäminen, karjan, sikojen ja siipikarjan määrän vähentäminen, kosteikkojen ja laskeutusaltaiden lisärakentaminen sekä siepparikasvien käyttöönnotto. Yhdyskuntien toimenpiteinä mallissa on jätevedenpuhdistuksen parantaminen sekä fosfaattipitoisten pesuaineiden käytön vähentäminen. Mallin toimenpiteiden vaikutukset ja kustannukset ovat yhteydessä toisiinsa; esimerkiksi lannoituksen vähentäminen pienentää kosteikoiden puhdistustehoa niihin virtaavien ravinteiden määrän vähentyessä. Lisäksi osalla mallin fosforitoimenpiteistä on ajassa muuttuva vaikutus. Fosforilannoitus kertyy peltoihin varannoksi, joka purkautuu tai kasvaa hiljalleen, kun lannoituksen taso muuttuu. Tämän vuoksi epäorgaanisen lannoituksen tai eläinmäärien vähentämisen täysi vaikutus havaitaan vasta usean vuoden viiveellä.



Liitekuva A13. Valuma-aluemallin rakenne ja tärkeimmät vuorovaikutukset.

Kokonaislannoitus koostuu epäorgaanisesta ja orgaanisesta lannoituksesta, ja sen vähentäminen aiheuttaa yhteiskunnalle kustannuksia sadon vähenemisen kautta. Mallissa käytetään ohraa edustavana kasvina, ja kustannukset arvioidaan satofunk-

tion avulla, joka kuvaa vasteen sadon muutoksessa suoran typpilannoituksen ja maaperän fosforin funktiona. Suoralla fosforilannoituksella oletetaan olevan vaikutus vain muuttuvan fosforitason vaikutuksen kautta. Pelloilta vesistöihin päätyvää kokonaisvaluntaa voidaan pienentää kosteikoilla, laskeutusaltailla ja siepparikasveja käyttämällä. Näiden toimenpiteiden teho riippuu peltojen valunnasta, ja niiden vaikutuksen oletetaan olevan lineaarinen valunnan suhteen. Siepparikasvien käytön kustannukset ovat vuotuisia. Kosteikkojen ja saostusaltaiden osalta kustannukset koostuvat rakentamiskustannuksista sekä vuotuisista käyttökustannuksista. Jätevedenpuhdistuksen ravinnepestöjä voidaan pienentää tehostamalla jätevedenpuhdistusta. Tässä työssä tarkastellaan mahdollisuutta kasvattaa tertiäärisen puhdistuksen kapasiteettiä liittämällä uusia ihmisiä puhdistamoiden piiriin tai päivittämällä jo olemassa olevia puhdistamoita tertiäärisiksi. Puhdistamoiden typen- ja fosforin poisto riippuu niihin tulevasta kuormasta, ja teho oletetaan lineaariseksi sisään tulevan kuorman funktiona. Tämä kuorma oletetaan typen osalta vakioksi, mutta fosforin osalta siihen voidaan vaikuttaa kontrolloimalla fosfaattia sisältävien pesuaineiden käyttöä.

Mallissa käytetty data on koottu eri lähteistä. Satofunktion estimointi ja kalibrointi perustuu kahteen lähteeseen (Bäckman ja Lansik 2005; FAOSTAT 2010). Fosforin dynamiikka noudattaa alan tutkijoiden kalibroimia funktioita (Helin ym. 2006; Saarela ym. 2004; Iho 2007). Maakohtainen viljelypinta-ala sekä eläinmäärät perustuvat Baltic Nest instituution dataan (Baltic Nest, 2010) ja niiden trendit Agmemod-mallin ennusteisiin (Agmemod partnership 2010). Epäorgaanisten lannoitteiden käyttö perustuu kansainvälisen lannoiteteollisuusyhdistyksen dataan (IFA 2010). Maaperän fosforitasoista ei ole olemassa vertailukelpoista dataa maiden välillä, joten tasot eri maissa on arvioitu historiallisen lannoitekäytön perusteella (Ahlvik ym., 2012). Retentiot sekä jätevedenpuhdistuksessa käytetty data perustuu RECOCA-projektin toistaiseksi julkaisemattomaan tutkimukseen (Hasler ym. 2012). Karjan ja sikojen vaihtoehtokustannukset perustuvat Schoun ym. (2006) tutkimukseen. Siipikarjan vaihtoehtokustannus sekä kosteikkojen teho perustuvat Gren ym. (2008) tutkimukseen. Laskeutusaltaiden kustannukset ja vaikutukset perustuvat Baltic Compass-projektin raporttiin (Owenius ja van der Nat 2011). Fosfaatittomien pesuaineiden teho sekä kosteikkojen kustannukset perustuvat COWI:n raporttiin (COWI 2007). Fosfaattia sisältävien pesuaineiden myyntiluvut perustuvat kansainvälisen saippua-, pesuaine- ja siivoustuotteiden liiton dataan (de Madariaga ym. 2009).

Typen kuormitusvähennyksen rajakustannukset eri toimenpiteille on esitetty liitetaulukossa A12 ja vastaavat luvut fosforikuorman vähentämiselle liitetaulukossa A13. Alkutilanteessa typpikuormaa on tulosten valossa tehokkainta vähentää vähentämällä typpilannoitusta, rakentamalla kosteikkoja sekä parantamalla jätevedenpuhdistuksen tasoa. Vanhoissa EU-maissa typpikuormaa on alkutilanteessa edullisinta pienentää typpilannoituksen vähentämisellä ja siepparikasvien viljelyllä. Kaikkien toimenpiteiden minimirajakustannus on pienin uusissa EU-maissa (Viro, Latvia, Liettua ja Puola) tai Venäjällä, mutta jollain vähennysten tasolla toimenpiteet vanhoissa EU-maissa (Suomi, Ruotsi, Saksa ja Tanska) ovat taloudellisesti perusteltuja, sillä vanhojen EU-maiden minimirajakustannus on pienempi kuin uusien EU-maiden tai Venäjän maksimirajakustannus.

Fosforikuorman vähennyksessä selvästi edullisinta on kontrolloida käytetyn fosforilannoituksen määrää. Tämä on edullinen toimenpide niissä maissa, joissa historiallinen fosforilannoitustaso on ollut korkea, eli Puolassa sekä vanhoissa EU-maissa.

Myös jätevedenpuhdistuksen tehostaminen, fosforilampien rakentaminen sekä fosfaattia sisältävien pyykinpesuaineiden kieltäminen ovat taloudellisesti perusteltuja toimenpiteitä alkutilanteessa. Kosteikot, siepparikasvit ja eläinmäärien vähentäminen eivät ole taloudellisesti perusteltuja fosforikuorman pienentämisen toimenpiteitä lukuun ottamatta hyvin korkeita kuormitusvähennyksen tasoja.

Liitetaulukko A12.

Typen kuormitusvähennyksen minimi- ja maksimirajakustannukset eri toimenpiteille

Uudet EU-maat (Viro, Latvia, Liettua ja Puola) ja Venäjä							
	Typpilannoitus	Kosteikot	Siepparikasvit	Puhdistamot	Lehmät	Siat	Siipikarja
Minimi	1,7 €/kg	1,5 €/kg	4,2 €/kg	2,4 €/kg	16,2 €/kg	22,9 €/kg	21,7 €/kg
Maksimi	45,9 €/kg	75,1 €/kg	129,1 €/kg	250,1 €/kg	70,8 €/kg	79,7 €/kg	84,1 €/kg
Vanhat EU-maat (Suomi, Ruotsi, Saksa ja Tanska)							
	Typpilannoitus	Kosteikot	Siepparikasvit	Puhdistamot	Lehmät	Siat	Siipikarja
Minimi	3,7 €/kg	8,7 €/kg	6,0 €/kg	12,3 €/kg	34,2 €/kg	38,3 €/kg	42,1 €/kg
Maksimi	154,1 €/kg	323,3 €/kg	85,1 €/kg	629,9 €/kg	420,3 €/kg	466,1 €/kg	470,1 €/kg

Liitetaulukko A13.

Fosforin kuormitusvähennyksen minimi- ja maksimirajakustannukset eri toimenpiteille

Uudet EU-maat (Viro, Latvia, Liettua ja Puola) ja Venäjä									
	Fosforilannoitus	Kosteikot	Siepparikasvit	Fosforilammet	Puhdistamot	Pesuaineet	Lehmät	Siat	Siipikarja
Minimi	0 €/kg	238 €/kg	433 €/kg	18 €/kg	10 €/kg	22 €/kg	1392 €/kg	1191 €/kg	1195 €/kg
Maksimi	168 €/kg	1810 €/kg	3673 €/kg	869 €/kg	1669 €/kg	373 €/kg	5070 €/kg	3700 €/kg	3827 €/kg
Vanhat EU-maat (Suomi, Ruotsi, Saksa ja Tanska)									
	Fosforilannoitus	Kosteikot	Siepparikasvit	Fosforilammet	Puhdistamot	Pesuaineet	Lehmät	Siat	Siipikarja
Minimi	0 €/kg	522 €/kg	703 €/kg	58 €/kg	51 €/kg	52 €/kg	1600 €/kg	950 €/kg	1257 €/kg
Maksimi	464 €/kg	3105 €/kg	2587 €/kg	134 €/kg	2773 €/kg	226 €/kg	8786 €/kg	4400 €/kg	5021 €/kg

Epävarmuus ja todennäköisyyslaskentaan perustuvat menetelmät öljyonnettomuuksien torjunnan suunnittelussa

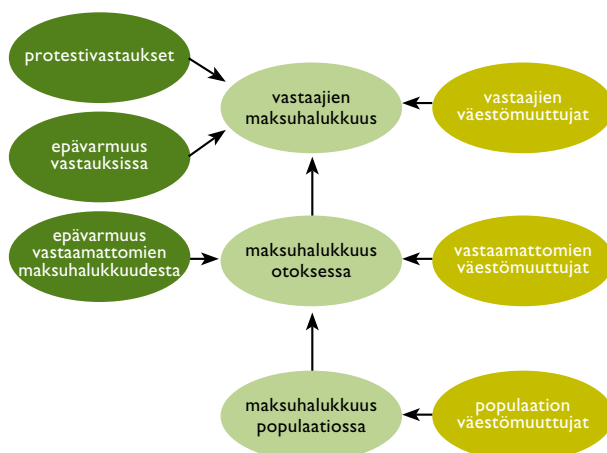
Maksuhalukkuusanalyysi

Epävarmuus ympäristön mallintamisessa koostuu monesta tekijästä. Ensinnäkin luonnonilmiöt itsessään ovat epävarmoja, puhutaan luonnollisesta vaihtelusta. Lisäksi on prosessiepävarmuus, joka liittyy kaikkien luonnonilmiöiden mallintamiseen, joissa ei täysin ymmärretä ilmiön syy-seuraussuhteita. Malleissa joudutaan aina tekemään yksinkertaistuksia ja kompromisseja, jolloin mukaan tulee vielä malliepävarmuus. Viimeisenä, etenkin monissa päätösmalleissa, on vielä toteutusepävarmuus, joka kuvaa sitä miten hyvin toimenpiteet käytännössä toteutetaan.

Bayesiläinen tilastotiede tarjoaa työkalut, joilla voidaan kuvata malleissa epävarmat muuttujat todennäköisyysjakaumilla. Priori-tietämyksen varassa kuvataan mallirakenne ja muuttujien jakaumat. Havaintoja lisäämällä ja käyttämällä Bayes-päätelyä muuttujien todennäköisyysjakaumat päivittyvät (Gelman ym. 1995). Bayes-mallien vahvuuksina on johdonmukaisuus epävarmuuden käsittelyssä. Lisäksi pystytään käyttämään tehokkaasti olemassa olevaa tietoa ja yhdistelemään erilaisia tietolähteitä. Päätösmalleissa on erityisen tärkeää, että päätöksentekijälle on selvää miten suuria epävarmuuksia mallin antamiin tuloksiin liittyy. Tällöin voidaan valita, millä riskitasolla päätöksiä tehdään.

Projektin osana kehitettiin hierarkkinen Bayes-malli, jolla pystytään käsittelemään mahdollisten maksuhalukkuustutkimuksien aineistoja ja jolla saatiin todennäköisyyspohjainen hyötyarvio kustannus-hyötymalliin. Kehitetyllä mallilla voidaan ottaa huomioon useita epävarmuuksia, joita tämän tyyppisiin tutkimuksiin sisältyy, näistä tärkeimpinä protestivastaukset, vastaajien epävarmuus, kyselyyn vastaamattomien aiheuttama harha sekä tulosten yleistäminen kaikkiin suomalaisiin. Tutkimuksessa kartoitettiin maksuhalukkuutta öljyntorjuntavalmiuden parantamiseksi Suomenlahdella. Ahtiainen (2007) kuvaa tarkemmin tutkimusjärjestelyt ja aineiston keruun.

Mallissa on kolme tasoa, vastaajien maksuhalukkuus, maksuhalukkuus otoksessa ja maksuhalukkuus populaatiossa. Maksuhalukkuuden selittävänä tekijänä käytetään tyypillisiä väestömuuttujia: ikää, sukupuolta, asuinpaikkaa ja tulotasoa (Liitekuva A14). Mallin lopputuloksena saadaan todennäköisyysjakauma 18-80 -vuotiaiden suomalaisten yhteenlasketusta maksuhalukkuudesta öljyntorjuntavalmiuden parantamiseksi. Juntunen ym. (2012) kuvaavat tarkemmin mallin rakenteen.



Liitekuva A14. Mallin rakenne pääpiirteittäin. Ovaalit kuvaavat muuttujia/muuttujaryhmiä ja nuolet kausaalisia riippuvuuksia niiden välillä. Riippuvuuksia kuvataan todennäköisyyksien avulla, jotka arvioidaan eri aineistoista.

Öljyntorjunnan ja onnettomuuksien ennaltaehkäisyn kustannus-hyötynalyysi

Bayes-verkot ovat graafisia malleja, jotka koostuvat muuttujista (kuvataan yleensä ovaaleina) ja riippuvuuksista (kuvataan yleensä nuolina) muuttujien välillä. Muuttujaa, josta lähtee nuoli/nuolia toiseen muuttujaan, kutsutaan vanhemmaksi; muuttujaa, johon saapuu nuoli/nuolia, kutsutaan vastaavasti lapseksi. Mallin katsotaan siis kuvaavan syy-seuraussuhteita eri muuttujien välillä. Riippuvuuksien voimakkuus muuttujien välillä määritellään muuttujakohtaisten ehdollisten todennäköisyystaulukoiden avulla. Niissä määritellään muuttujan todennäköisyys olla tietyssä tilassa ottaen huomioon muuttujan vanhempien tilat. Muuttujilla, joilla ei ole vanhempia, on vain yksi todennäköisyysjakauma eli reunajakauma. Kun muuttujien todennäköisyyksistä saadaan uutta tietoa, se voidaan helposti lisätä Bayes-verkkoon, jolloin mallin muiden muuttujien tila päivittyy uuden tiedon mukaiseksi. (Bromley ym. 2005)

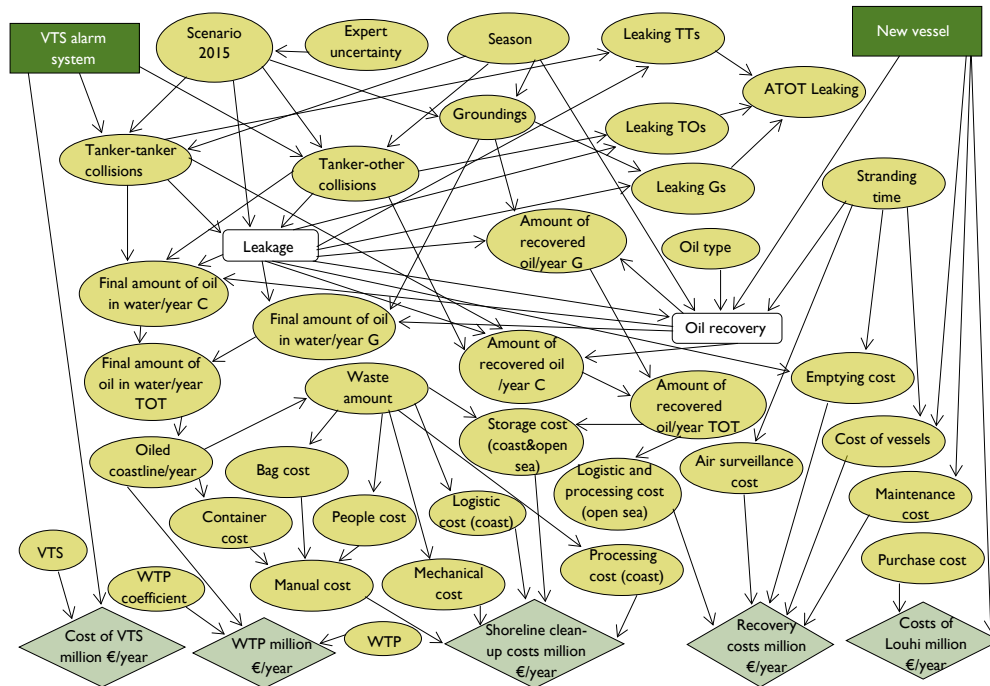
Bayes-verkkojen todennäköisyysjakaumien muodostamisessa voidaan hyödyntää niin tilastollista aineistoa, mallinnustuloksia kuin myös asiantuntijoilta saatua tietoa. Ne mahdollistavat siis kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen tiedon laskennallisen yhdistämisen. Bayes-verkkojen avulla voidaan arvioida eri vaihtoehtojen suhteellista paremmuutta silloin, kun päätöksentekoon ja muuttujien tilaan liittyy epävarmuutta. Ne ovat erityisen käyttökelpoisia työkaluja silloin, kun usean eri tekijän tiedetään vaikuttavan toisiinsa ja kaikki eri tekijät on otettava huomioon ratkaisuja tehtäessä. (Bromley ym. 2005)

Projektissa kehitettiin todennäköisyyspohjainen kustannus-hyötymalli, jonka avulla voidaan tarkastella automaattisen VTS-hälytysjärjestelmän ja uuden öljyntorjuntalus Louhen kannattavuutta. Mallin pohjana käytettiin SAFGOF (Suomenlahden meriliikenteen kasvunäkymät 2007–2015 ja kasvun vaikutukset ympäristölle ja kuljetusketjujen toimintaan) -projektissa (<http://www.merikotka.fi/safgof/>) luotua metamallia, jota kehitettiin edelleen. Lehikoinen ym. (2012a, käsikirjoitus) ovat kuvanneet metamallin rakenteen tarkemmin. Öljyntorjuntalaivaston keruutehokkuuden arvioiva malli on kuvattu artikkelissa Lehikoinen ym. (2012b, käsikirjoitus).

Tässä käytetyn mallin peruserä ja toimintatapa on esitetty luvussa 3.2. Mallissa arvioidaan tankkerionnettomuuksien todennäköisyyttä ja niistä mereen päätyvän öljyn määrää, jota käytetään arvioimaan saastuneen rantaviivan pituutta. Öljyn määrän ja saastuneen rantaviivan pituuden välinen riippuvuus laskettiin rakentamalla lineaarimalli, jossa vuodon kokoa ja etäisyyttä rantaviivasta käytettiin selittämään saastuneen rantaviivan pituutta. Aineisto analyysiin kerättiin kirjallisuudesta.

Hyötynä mallissa on muuttuja, joka kuvaa suomalaisten maksuhalukkuutta Suomenlahden öljyntorjuntavalmiuden parantamiseksi. Maksuhalukkuus muokattiin kustannus-hyötymallissa ilmaisemaan, kuinka paljon suomalaiset täysi-ikäiset henkilöt olisivat valmiita maksamaan öljyntyntymättömästä rantaviivasta parantuneen öljyntorjunnan seurauksena. Oletuksena oli, että jos koko rantaviiva on öljyntyntynyt, hyöty on 0. Maksuhalukkuuskyselyssä käytettiin määritelmää ”Öljyntorjuntavalmiuden parantaminen”. Tämän oletettiin tarkoittaneen vastaajille sitä, että öljyntyntynyt rantaviivan pituus vähenisi 30–70 %. Olettamalla saastuneen rantaviivan ja maksuhalukkuuden välille lineaarinen riippuvuus voitiin laskea, kuinka arvokkaana pidettiin täysin puhdasta rantaviivaa. Mallin laskiessa rantaviivan öljyntyntymistä eri tilanteissa saadaan öljyvahingon laajuus muutettua euroiksi.

Kustannukset avomeritorjunnalle ja rantapuhdistukselle saatiin Suomen ympäristökeskuksesta (SYKE), asiantuntijoiden tekemistä arvioista ja mm. SÖKÖ-hankkeissa kerätyistä tiedoista ja julkaistuista raporteista. SÖKÖ I -hankkeessa muodostettiin



Liitekuva A15. Kustannus-hyötymallin rakenne. Suorakulmiot kuvaavat päätösmuuttujia, ovaalit satunnaismuuttujia (eli muuttujia, joiden erilaisia mahdollisia tiloja kuvataan todennäköisyyksien avulla), pyöristetyt suorakaiteet alimalleja ja vinoneliöt hyötymuuttujia.

toimintamalli itäisellä Suomenlahdella tapahtuvan suuren alusöljyvahingon varalle, ja SÖKÖ II -hankkeessa laadittiin vastaavanlaiset toimintamallit Itä-Uudenmaan, Helsingin ja Länsi-Uudenmaan pelastustoimialueille. SÖKÖ II -hankkeen yhteydessä tehtiin diplomityö (Partila 2010), jossa selvitettiin mm. rantapuhdistuksen kustannuksia. Näitä tuloksia hyödynnettiin kustannus-hyöty-mallissa. Automaattisen VTS-hälytysjärjestelmän karkea kustannusarvio saatiin asiantuntijalta, mutta arvio pitää sisällään hyvin paljon epävarmuutta, koska järjestelmän toteutustavasta ei ole vielä olemassa tarkkaa tietoa. Merikotka-tutkimushankkeen eri projekteissa on arvioitu mahdollisen automaattisen hälytysjärjestelmän lisäämistä VTS-järjestelmään, mutta projekteissa ei kuitenkaan tehty vielä minkäänlaista järjestelmämäärittelyä, ja siksi myös kustannusarvioiden tekeminen on tässä vaiheessa hyvin vaikeaa.

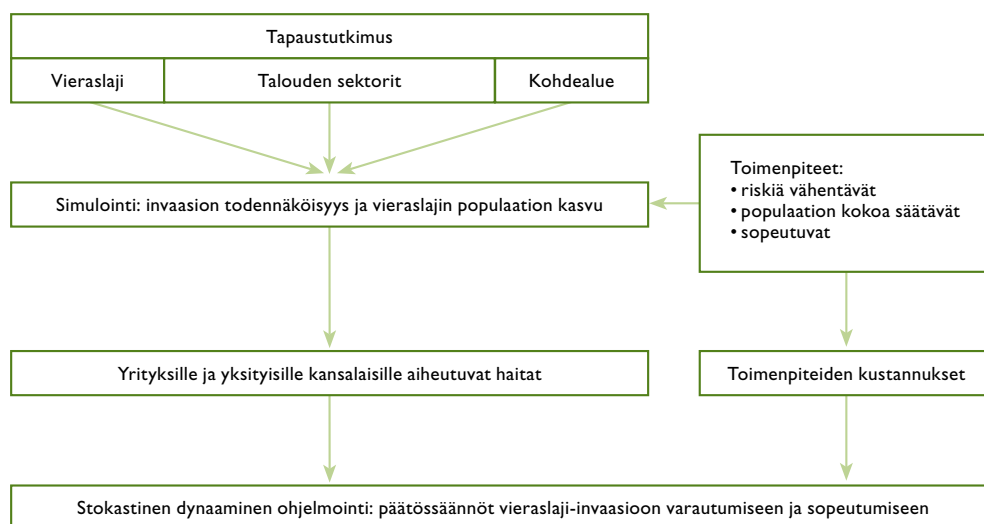
Malliin sisällytettiin öljyntorjunta-aluksista hankintakustannukset ainoastaan Louhesta, mutta vuotuisissa ylläpitokustannuksissa huomioitiin myös muut mukanaolevat torjunta-alukset eli se, kuinka paljon SYKE maksaa vuosittain alusten valmiudesta öljyntorjuntatöihin. Näiden lisäksi tulevat mahdollisen onnettomuuden yhteydessä syntyvät toimintakustannukset. Muiden olemassa olevien alusten pääomakustannuksia ei huomioitu.

Kaikki syntyvät kustannukset ja hyödyt laskettiin vuositasona, koska mallissa myös onnettomuuksien todennäköisyys ja mereen vuotavan öljyn määrä on laskettu vuotta kohden. Näin ollen esim. Louhen hankintakustannus jaettiin aluksen oletetulla käyttöiällä (30 vuotta); maksuhalukkuuden puolestaan oletettiin koskevan kymmentä vuotta. Kaikki kustannukset on muutettu vastaamaan vuoden 2011 euroja. Tarkempi kuvaus mallista löytyy Luoman ym. (2012) käsikirjoituksesta (ks. myös Helle ym. 2011, 2012a,b, Helle & Kuikka 2010).

Liite I I.

Käsitemalli vieraslajin ennakkotorjuntaan ja jälkihoitoon

Ensimmäinen tehtävä vieraslajianalyysissä on arvioida alueet, joille laji voi mahdollisesti levitä sekä talouden sektorit, asuinalueet ja yhteisöt, joita vieraslajin saapuminen jollain tavoin koskettaisi. Toiseksi tulisi kyetä arvioimaan todennäköisyys lajin leviämiseen alueelle ja arvioida miten lajin populaatio kasvaisi invaasion jälkeen. Kolmas tehtävä on arvioida minkälaista haittaa ja edelleen taloudellisia kustannuksia invaasio aiheuttaa eri elinkeinoille ja kansalaisille. Neljänneksi tulee identifioida keinoja, joilla voidaan joko vähentää invaasion todennäköisyyttä tai sopeutua populaation haittoihin populaation kokoa pienentämällä ja sen kurissa pitämällä tai vähentämään populaatioista eri talouden toimijoille aiheutuvia haittoja ja taloudellisia kustannuksia. Kaikkiin näihin toimenpiteisiin liittyy kustannuksia. Viimeinen tehtävä on hakea sellainen toimenpideyhdistelmä, jolla vieraslajeista ja niiden torjunnasta aiheutuvat yhteiskustannukset olisivat mahdollisimman pienet. Käsitemallin sovellus Aasian simpukalle ja suunnitellun ydinvoimalan lauhdevesialueella löytyy julkaisuista (Hyytiäinen ym. 2012a,b, Hyytiäinen & Lehtiniemi 2012).



Liitekuva A16. Käsitemalli vieraslajin ennakkotorjuntaan ja jälkihoitoon

Nykyinen Itämeren ravinnekuormitus ja suojeleuhjelmien mukaiset tavoitteet

Liitetaulukossa A14 kuvataan kustannus-hyötyanalyysin perustana oleva typen ja fosforin kuormitus Itämeren eri altaisiiin. Eri maiden kautta tulevaa ravinnekuormitusta on mitattu vuosikymmenien ajan. Ongelmana on vuosien välinen satunnaisvaihtelu, joka aiheutuu esimerkiksi sademäärästä ja lämpötilasta. Yhden vuoden kuormituksen perusteella on vaikeaa nähdä tehtyjen toimenpiteiden vaikutusta, koska havaittu kuormituksen lasku voi johtua vain luonnollisesta vaihtelusta. Tätä vaikutusta voidaan pienentää niin kutsutulla virtausnormalisoinnilla, jossa suhteutetaan ravinnekuormat kunkin joen vesimääriin, ja näin ollen pystytään ottamaan huomioon osa sateisten vuosien aiheuttamasta luonnollisesta vaihtelusta. Kustannus-hyötyanalyysissä käyttämämme kuormitukset perustuvat vuosien 2004-2008 mittausaineistoista laskettuihin ja jokikuorman suhteen virtausnormalisoituihin keskiarvoihin. Nämä luvut on esitetty liitetaulukossa A14.

Liitetaulukko A14. Nykyinen jokien kautta Itämereen tuleva ravinnekuormitus (tonneina/vuosi)

Maa	allas	Typpi	Fosfori
Ruotsi	Perämeri	19 366	880
	Selkämeri	28 183	939
	Pääallas	30 158	749
	Tanskan salmet	4981	106
	Kattegat	33 499	819
Suomi	Perämeri	34 477	1455
	Selkämeri	27 213	1247
	Suomenlahti	16 421	656
Venäjä	Pääallas	6021	833
	Suomenlahti	81 724	4704
Viro	Pääallas	921	19
	Suomenlahti	18 727	907
	Riiianlahti	14 000	314
Latvia	Pääallas	9668	324
	Riiianlahti	72 141	2671
Liettua	Pääallas	46 626	2111
Puola	Pääallas	193 593	11 790
Saksa	Pääallas	7906	174
	Tanskan salmet	12 176	304
Tanska	Tanskan salmet	25 149	975
	Kattegat	23 752	744
Jokikuormitus yhteensä		706 704	32 719
Ilmansaasteet		224 920	2250
Laivojen jätevedet		460	150
YHTEENSÄ		932 084	35 119

Lähteet: Jokikuormituksen osalta HELCOMin PLC-5-raportti (HELCOM 2011), Ilmansaasteiden osalta UNECE/EMEP tietokanta

Itämeren toimintaohjelman mukaiset maa- ja allaskohtaiset tavoitteet on esitetty liitetaulukoissa A15 ja A16. Alkuperäinen luku kuvaa maakohtaista kuormitusvähennystä vuonna 2007 solmitussa Itämeren toimintaohjelmassa. Tämän laskelman lähtökuormitus on laskettu viimeisimpien käytössä oleviin mittausaineistoihin perustuen. Sekä kokonaistyyppi- ja fosforikuormitus on Itämeren alueella laskenut. Tosin muutamassa maassa (Latvia ja Liettua) kuormitus on kasvanut ja sen mukaisesti laskennalliset vähennyskiintiöt kasvaneet. Itämeren toimintaohjelman allaskohtaiset ja maakohtaiset kuormituksen vähennyskiintiöiden summat eivät täsmää tarkalleen, joka näkyy myös tässä laskelmassa.

Liitetaulukko A15. Itämeren toimintaohjelman (BSAP) mukaiset kuormitusrajat altaittain (tonneina/vuosi)

	Typpi		Fosfori	
	Nykytila	Tavoite	Nykytila	Tavoite
Allas				
Perämeri	53 844	51 440	2 335	2 580
Selkämeri	55 396	56 790	2 186	2 460
Pääallas	294 893	237 013	15 999	7 956
Suomenlahti	116 872	106 680	6 267	4 860
Riianlahti	86 141	78 400	2 985	1 880
Tanskan salmet	42 307	30 890	1 385	1 410
Kattegat	57 251	44 260	1 563	1 570
Yhteensä	706 704	605 473	32 719	22 716

Liitetaulukko A16. Itämeren toimintaohjelman (BSAP) mukaiset kuormitusvähennykset maittain (tonneina/vuosi) niihin altaisiin, joihin sopimus määrittää ravinnekuorman vähennyksiä (typen osalta Pääallas, Suomenlahti, Tanskan salmet ja Kattegat, fosforin osalta Pääallas, Suomenlahti ja Riianlahti)

	Typpi		Fosfori	
	alkuperäinen	tämä laskelma	alkuperäinen	tämä laskelma
Ruotsi	20 780	16 656	2390	180
Suomi	1200	1768	150	224
Venäjä	6970	5326	2500	1354
Viro	900	1490	220	201
Latvia	2560	1782	300	1681
Liettua	11 750	13 263	880	1656
Puola	62 400	40 638	8760	6828
Saksa	5620	4856	240	0
Tanska	17 210	8607	16	0
Yhteensä	129 390	94 386	15 456	12 124

Huom. Tämän taulukon allaskohtaiset tavoitetasot eivät sisällä BSAP-sopimuksessa huomioituja oletettuja vähennyksiä Itämeren valuma-alueen muissa maissa (Valko-Venäjä, Ukraina, Tsekki, Slovakia)

Liite 13.

Hyödyt ja kustannukset HELCOMin Itämeren toimintaohjelmaa matalammasta vesiensuojelun tasosta (osittainen BSAP)

Itämeren suojelun toimenpideohjelmaa matalampi vesiensuojelun taso määriteltiin tässä tutkimuksessa kuormiksi, jotka ovat puolet alkuperäisestä Itämeren toimintaohjelman vaatimista vähennyksestä. Hyödyt ja kustannukset tämän matalamman vesiensuojelun tason saavuttamisesta ovat liitetaulukkoissa A17 ja A18.

Liitetaulukko A17. Maakohtaiset arviot keskimääräisistä ja kokonaismaksuhalukkuuksista Itämeren toimintasuunnitelman tavoitteet puoliksi (osittainen BSAP) saavuttavalle ohjelmalle (vuoden 2011 euroina)

Maa	Aikuisväestö, miljoonaa	Maksuhalukkaiden osuus, prosenttia (95 % luottamusväli)	Keskimääräinen maksuhalukkuus, €/henkilö/vuosi (95 % luottamusväli)	Kansallinen maksuhalukkuus, milj. €/vuosi (95 % luottamusväli*)
Tanska	3,958	56,5 (52,7 – 60,3)	49,3 (41,6 – 57,7)	195 (165 – 229)
Viro	0,989	55,2 (49,0 – 61,4)	13,5 (9,8 – 17,7)	13 (10 – 18)
Suomi	3,617	65,2 (62,4 – 67,9)	42,2 (37,3 – 47,3)	153 (135 – 171)
Saksa	68,321	56,9 (53,4 – 60,5)	20,0 (17,2 – 23,1)	1369 (1176 – 1576)
Latvia	1,690	51,6 (47,2 – 56,0)	3,5 (2,7 – 4,4)	6 (5 – 7)
Liettua	2,516	56,9 (52,4 – 61,3)	4,6 (3,5 – 5,8)	12 (9 – 15)
Puola	24,624	61,0 (56,6 – 65,3)	6,9 (5,9 – 8,0)	170 (146 – 196)
Venäjä	119,696	31,8 (28,7 – 35,0)	4,8 (3,5 – 6,2)	571 (421 – 742)
Ruotsi	7,564	76,3 (72,4 – 80,2)	89,9 (77,5 – 103,1)	680 (586 – 780)
Yhteensä	232,975			3169 (2652 – 3734)

* Luottamusvälin alaraja (yläraja) on laskettu kertomalla maksuhalukkaiden osuuden 95 % luottamusvälin alaraja ja euromääräisen maksuhalukkuuden 95 %:n luottamusvälin alaraja (yläraja) keskenään. Luottamusvälien yhdistelmä on siten hieman laajempi kuin 95 % luottamusväli. Maksuhalukkuudet on muutettu euroiksi Euroopan keskuspankin vuoden 2011 keskimääräisillä valuuttakursseilla.

Liitetaulukko A18. Maakohtaiset kustannukset ja typpi- ja fosforikuormituksen vähentäminen toimintaohjelman tavoitteet osittain saavuttavalle ohjelmalle (osittainen BSAP).

Maa	Kokonaiskustannus (M €/ vuosi)	Typpikuorman vähennys (tonnia / vuosi)	Fosforikuorman vähennys (tonnia / vuosi)
Ruotsi	34	6844	200
Suomi	35	3653	233
Venäjä	32	2051	662
Viro	11	4552	110
Latvia	103	11 695	872
Liettua	99	13 155	934
Puola	177	11 374	2451
Saksa	72	2045	105
Tanska	12	1243	0
Yhteensä	574	56 612	5567

Kustannustehokkaat ja optimoidut toimenpidesuunnitelmat

Tässä liitteessä esittelemme maakohtaiset toimenpiteiden käytön laajuudet HEL-COMin Itämeren toimintaohjelmalle (alkuperäinen), kustannustehokkaille toimenpideyhdistelmille maa- ja allaskiintiöin (BSAP tavoite 1) ja ilman kiintiöitä (BSAP tavoite 2) sekä laskelmalle, jossa optimoidaan vesiensuojelun taso ja toimenpidesuunnitelmat samanaikaisesti (Optimoitu taso). Maakohtaiset tehokkaat lannoitemäärät, eläinmäärät, kosteikot, fosforilammet, siepparikasvit, fosfaatittomien pesuaineiden käyttö sekä tertiäärinen jätevedenpuhdistuksen laajuus esitetään liitetaulukoissa A19 – A23.

Liitetaulukko A19. Epäorgaanisen lannoitteen käyttö

	Epäorgaaninen typpilannoitus (kg/ha)				Epäorgaaninen fosforilannoitus (kg/ha)			
	Alku-peräinen	BSAP tavoite 1	BSAP tavoite 2	Optimoitu taso	Alku-peräinen	BSAP tavoite 1	BSAP tavoite 2	Optimoitu taso
Ruotsi	74,4	28,3	55,1	73	5,4	4	4,9	5,4
Suomi	72,4	53,3	65,9	72,4	7,7	6,2	4,7	4
Venäjä	9,5	7,7	9,5	9,5	1,6	1,1	1,2	1,5
Viro	39,2	32,4	31,1	33,5	2,8	2,2	0,9	2,7
Latvia	46,3	46,3	42,7	43,8	5,4	1,1	1,6	2,7
Liettua	68,1	68,1	34,5	60,1	7,9	1,6	1,8	5,7
Puola	88,5	88,5	88,4	88,5	15,6	9,6	11,6	11,5
Saksa	149,6	34,8	125,7	149,6	11,4	9,7	10	11,4
Tanska	96,1	19,2	20,1	85,4	5,7	5,7	2,5	2,8

Liitetaulukko A20. Lehmien ja sikojen lukumäärä

	Lehmien lukumäärä (1000 kpl)				Sikojen lukumäärä (1000 kpl)			
	Alku-peräinen	BSAP tavoite 1	BSAP tavoite 2	Optimoitu taso	Alku-peräinen	BSAP tavoite 1	BSAP tavoite 2	Optimoitu taso
Ruotsi	1843,4	1616,4	1720,4	1843,4	2069	1796	2014	2069
Suomi	991,7	991,7	991,7	991,7	1234	1234	1234	1234
Venäjä	603,2	603	603,2	603,2	373	348,9	373	373
Viro	283,1	278,1	280,8	283,1	292	289	289,8	292
Latvia	431,7	217,7	431,7	431,7	420	208	420	420
Liettua	980,8	493,8	980,8	980,8	1126	566	1126	1126
Puola	6767,1	6767,1	6767,1	6767,1	18 078	18 078	18 078	18 078
Saksa	911,9	701,9	911,9	911,9	1492	1142	1492	1492
Tanska	1136,9	766,9	1136,9	1136,9	6693	4653	6693	6693

Liitetaulukko A21. Siipikarjan lukumäärä ja kosteikkojen pinta-ala

Siipikarjan lukumäärä (1000 kpl)					Kosteikot (neliökilometriä)			
	Alku-peräinen	BSAP tavoite 1	BSAP tavoite 2	Optimoitu taso	Alku-peräinen	BSAP tavoite 1	BSAP tavoite 2	Optimoitu taso
Ruotsi	7150	6547	7150	7150	48 941	49 343	49 419	48 972
Suomi	4930	4930	4930	4930	42 092	42 293	42 094	42 092
Venäjä	8700	8416	8700	8700	11 700	11 746	11 700	11 700
Viro	1760	1757	1760	1760	10 092	10 314	10 364	10 364
Latvia	4000	2003	4000	4000	3161	3750	3559	3515
Liettua	8840	4421	8840	8840	1554	2499	2350	2115
Puola	124 130	124 130	124 130	124 130	13 124	16 799	14 914	13 731
Saksa	18 710	14 400	18 710	18 710	576	1301	941,2	576
Tanska	19 220	13 270	19 220	19 220	554	1617	1577	574

Liitetaulukko A22. Kemialliseen käsittelyyn perustuvien laskeutusaltaiden (sedimentation ponds) lisärakentaminen ja siepparikasvien käyttöönotto

Laskeutusaltaat (ha)				Siepparikasvit (ha)		
	BSAP tavoite 1	BSAP tavoite 2	Optimoitu taso	BSAP tavoite 1	BSAP tavoite 2	Optimoitu taso
Ruotsi	0	550,7	3,8	2653,4	2732,8	59,8
Suomi	0	385,8	2,2	134,5	8,2	0
Venäjä	607,2	857,1	23,5	0,6	2,3	2,4
Viro	73,1	140,7	42,3	560,4	139,9	452,9
Latvia	491	487	149	3884,1	15,7	43,1
Liettua	783	610,2	742	6233,3	0,5	29,3
Puola	5380	4610	1428	0	0	0
Saksa	0	303	1,4	2500,4	945,2	0,1
Tanska	50	610	0	7015,9	5633,5	51,3

Liitetaulukko A23. Tertiääriseen jätevedenpuhdistuksen laajuus ja fosfaattia sisältävien pesuaineiden käyttö

Tertiääriseen puhdistukseen yhdistetty väkiluku (1000 hlö)					Fosfaattia sisältävien pesuaineiden käyttö (kg/hlö)			
	Alku-peräinen	BSAP tavoite 1	BSAP tavoite 2	Optimoitu taso	Alku-peräinen	BSAP tavoite 1	BSAP tavoite 2	Optimoitu taso
Ruotsi	7193	7530	7990	7332	0	0	0	0
Suomi	3569	3590	3625	3596	0	0	0	0
Venäjä	897	2786	4292	2981	0,31	0,11	0	0,03
Viro	552	619	666	616	0,31	0,19	0,02	0,02
Latvia	915	2302	2302	1961	0,28	0,03	0,03	0
Liettua	1213	2986	2986	2986	0,33	0	0	0,33
Puola	16 712	35 407	35 407	29 831	0,19	0	0,08	0,19
Saksa	2290	2463	2359	2290	0	0	0	0
Tanska	3546	3857	3864	3547	0,07	0,07	0	0,07

OSA II

Uusia analyyyseja ja välineitä Itämeren suojeluun^{*)}

Markku Ollikainen¹⁾, Sami Hautakangas²⁾, Juha Honkatukia³⁾ ja Jussi Lankoski⁴⁾

¹⁾ Markku Ollikainen, ympäristöekonomian professori, Helsingin yliopisto, taloustieteen laitos

²⁾ Sami Hautakangas, tohtoriopiskelija, Helsingin yliopisto, taloustieteen laitos

³⁾ Juha Honkatukia, tutkimusjohtaja, Valtion taloudellinen tutkimuslaitos

⁴⁾ Jussi Lankoski, Itämeren suojelun ja talouden professori, Helsingin yliopisto, OECD

^{*)} Tämä tutkimusraportti kokoaa yhteen tutkimustuloksia projektista ”Kustannustehokkaat ohjauskeinot Itämeren suojelussa” ja yleistää niitä vesiensuojelupolitiikan hahmottamiseen. Julkaisun perustuu tutkimustuloksiin, jotka on esitetty erillisissä tutkimusraporteissa ja jotka sisältyvät tämän raportin viitteisiin.

SISÄLLYS

1 Johdanto	104
2 Yhdyskuntajätevesikuormituksen puhdistuspotentialiaali ja kustannukset	107
2.1 Yhdyskuntajätevesikuormituksen vähennyspotentialiaali	107
2.2 Yhdyskuntajätevesien puhdistuskustannukset	109
3 Maatalouden ravinnekuorman rajoittamiskeinot ja kustannukset	111
3.1 Maatalouden hajakuormituksen vähentämiskeinot	111
3.2 Maatalouden ympäristöohjelman arviointia	114
3.3 Ravinteiden vähentämiskustannukset maataloudessa	117
4 Ravinnekuormituksen kustannustehokas vähentäminen	120
5 Kohti kustannustehokasta vesiensuojelupolitiikkaa	123
5.1 Yhdyskuntajätevedet	123
5.2 Maatalous	124
5.3 Karjatalouden erityisongelma	125
6 Suosituksia ohjauksen tehostamiseksi	128
Lähteet	129
Liite	130

1 Johdanto

Suomi on edistänyt Itämeren suojelua kansainvälisillä foorumeilla ja samalla tehostanut ravinnekuormituksen vähentämistoimia kotimaassa. Suomen vesiensuojelua ohjaavat EU-lainsäädäntö, HELCOM:in Itämeren suojelun toimintaohjelma, Suomen vapaaehtoinen sitoumus edistää Saaristomerен suojelua ja tehostaa ravinteiden kierrätystä sekä sektorikohtaiset ravinteiden vähentämistavoitteet. Sektorikohtaiset ohjelmat toimeenpaneuvat osaltaan Suomea sitovat Euroopan unionin nitraatti- vesipuite- meristrategia- ja yhdyskuntajätevesidirektiivit.

Itämeren suojelun toimintaohjelman mukaisesti Suomen tulee vähentää Suomenlahden typpikuormitusta 1200 tonnia ja fosforikuormitusta 150 tonnia vuoteen 2015 mennessä vuosien 1997–2003 keskimääräisestä kuormitustasosta. Valtioneuvoston periaatepäätös Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2012 (23.11.2006) asettaa tavoitteeksi vähentää maatalouden ravinnekuormaa 30 % vuosien 2001–2005 keskimääräisestä tasosta vuoteen 2015 mennessä. Haja-asutuksen kuormituksen vähentämistä ohjaa 15.3.2011 voimaan tullut jätevesiasetus, jonka mukaan haja-asutuksen tulee puhdistaa fosforia 70 prosenttia ja typpeä 30 prosenttia, mutta herkillä alueilla fosforista 85 prosenttia ja typpeä 40 prosenttia

Suomi on jo pitkään rajoittanut tehokkaasti yhdyskuntajätevesien fosforikuormaa. Puhdistamot poistavat keskimäärin 96 prosenttia niihin tulevista fosforikuormasta, mikä on enemmän kuin EU:n yhdyskuntajätevesidirektiivi edellyttää. Typpeä on poistettu keskimäärin 64 prosenttia. Yhdyskuntajätevesidirektiivin toimeenpano edellyttää kuitenkin typen puhdistuksen kasvattamista nykytasolta paikallisista olosuhteista riippuen Itämereen vaikuttavilla vesistömuodostumilla ja rannikolla. Direktiiviä saatetaan parhaillaan voimaan. Teollisen pistekuormituksen jätevesien puhdistustason on perinteisesti ajateltu olevan korkealla tasolla.

Suomen suurin haaste on saavuttaa Itämeren suojelun toimintaohjelman edellyttämä fosforin vähennys Suomenlahden valuma-alueella, eikä vedenlaadun parantaminen hyvään tilaan Saaristomerelläkään ole helppoa. Onnistuminen edellyttää, että Suomi edistyy maatalouden ravinnekuormituksen vähentämisessä ja hyödyntää tehokkaasti pistekuormittajien ravinteiden vähentämispotentiaalin. Tarvitaan paitsi halua vähentää päästöjä myös taitoa löytää toimivat ohjauskeinot toteuttamaan halutut vähennykset.

Toimivan ravinnepolitiikan luominen pistekuormittajille on suhteellisen suoraviivaista. Pistekuormitus tulee selkeästi määritettävästä ja mitattavasta pisteestä. Kuormitukseen voidaan kohdistaa teknologisia puhdistusratkaisuja, joiden puhdistustehoa voidaan säätää saavuttamaan tarvittaessa jopa hyvin korkeita puhdistustasoja (fosforin osalta 97–98 prosenttia, typen osalta 90–95 prosenttia). Yhdyskuntajätevesipuhdistamoilla on erityisrooli pistekuormittajien joukossa: ne on rakennettu nimenomaan kiintoaineiden ja ravinteiden puhdistamista varten. Puhdistamot kattavat puhdistamisen kustannukset jätevesimaksuilla, joten kullakin puhdistustasolla järjestelmä rahoittaa itse itsensä. Teollisille pistekuormittajille ravinnekuorma on

tuotantoprosessin sivutuote, jonka määrään vaikuttavat esimerkiksi yritysten saama lopputuotteen hinta, tuotettu määrä ja puhdistuskustannukset.

Maatalouden hajakuormitus tulee vaikeasti mitattavana valuntana peltolohkojen pinnoilta sekä avo- ja salaojien purkuvesien kautta. Siksi ei voida sanoa tarkasti, kuinka paljon kukin yksittäinen peltolohko kuormittaa vesistöjä. Huuhtouma pelloilta riippuu satunnaisista sääoloista. Sääolot määrittävät, kuinka hyvä kasvukausi on, kuinka tehokkaasti kasvit sitovat lannoitetyyppeä ja kuinka paljon sitä jää kasvukauden jälkeiseksi huuhtoumapotentiaaliksi. Ravinnehuuhtoumiin vaikuttavat erityisesti sateisuus ja sen jakautuminen, talvikauden lumisuus ja monet muut vastaavat tekijät, joihin viljelijä ei voi vaikuttaa. Satunnaisten sääolojen ohella peltolohkojen huuhtouma-alttius riippuu maan laadusta, hedelmällisyydestä, kasvukunnosta, eroosioherkkyydestä ja viljelyhistoriasta.

Maatalouden typpi- ja fosforihuuhtoumaa säätelevät erilaiset tekijät, joten niihin myös vaikutetaan eri tavoin. Toisin kuin pistekuormittajilla maatalouden ravinteiden vähentämiseen ei ole toistaiseksi yleisesti hyväksi todettuja, tehokkaita teknologisia keinoja. Pitääkseen ravinteet pellolla viljelijä voi turvautua esimerkiksi hyviin viljelykäytäntöihin ja lannoitustasojen alentamiseen. Jo karanneiden ravinteiden pysäyttämiseksi viljelijä voi perustaa suojakaistoja ja kosteikkoja. Typpilannoitus ja typpihuuhtouma riippuvat valitusta viljelykasvista (kasvien typpitarve vaihtelee). Fosforihuuhtouma on jokseenkin riippumaton viljelykasvista, mutta riippuu sitäkin enemmän maan viljavuusfosforin määrästä ja eroosiosta.

On haasteellista muotoilla toimivaa kansallista vesiensuojelupolitiikkaa, joka ottaa huomioon erot toimijoissa (yritys, liikelaitos, kotitalous ja maatila), huuhtoumien luonteessa ja vähentämiskeinoissa. Tehokkuusnäkökulmasta katsottuna vesiensuojelutavoitteiden saavuttamiseksi tulee soveltaa kustannustehokkuuden periaatetta eli annettujen ravinteiden vähennystavoitteiden saavuttamista pienimmin mahdollisin kustannuksin. Kustannustehokkuuden vaatimus voidaan ilmaista myös kääntäen: annetulla suojelubudjetilla tulee saavuttaa ympäristöllisesti paras lopputulos. Kustannustehokkuus toteutuu, kun kuormituksen vähennysvelvoitteet kohdistetaan kuormittajille niin, että niiden kaikkien rajapuhdistuskustannukset, eli kustannukset viimeksi puhdistetusta yksiköstä, ovat yhtä suuret.

Tehokkuustarkastelu ei ota kantaa asetettavien vähennysvelvoitteiden reiluuteen eri sektoreiden ja toimijoiden kesken. Tällainen pohdinta voi kuitenkin olla tarpeen piste- ja hajakuormittajien eron vuoksi. Pistekuormittajat ovat yleensä suuria yrityksiä tai liikelaitoksia (vesilaitokset), joiden toiminnan kokonaisuudessa ympäristönsuojelun kustannukset edustavat suhteellisen pientä erää – kalliit laitosisinvestoinnit ovat pitkäikäisiä – ja toiminnan aikahorisontti on pitkä. Yhdyskuntajätevesien puhdistukselle maksajia on paljon: viemäriverkkoon kytketyt kotitaloudet. Maanviljelys Suomessa on taas lähinnä perheyrittöystoimintaa, jonka rahoituksellista perustaa ei voi verrata yrityksiin. Siksi on syytä pohtia millaisella ohjauksella vesiensuojelutavoitteet voidaan saavuttaa ja samalla helpottaa sitä taloudellista raskautta, jonka ympäristönsuojelu maataloudessa aiheuttaa. Tässä tehtävässä maatalouden ympäristötuella on oma roolinsa.

Yllä esitetyt vesiensuojelunongelmat ovat tämän tutkimuksen kohteena. Keskitymme tarkastelemaan yhdyskuntajätevesien ja maatalouden hajakuormituksen rajoittamista. Näiden sektoreiden ohella vesistöjä kuormittavat esimerkiksi haja-asutus ja teollinen pistekuormitus. Haja-asutuksen ohjausta on juuri tehostettu asetuksella, joka ensisijaisesti parantaa sisävesien tilaa, mutta laskee myös Itämereen tulevaa kuormitusta. Teollisen pistekuormituksen suhteen ei käytössä ole riittävän tarkkoja tietoja puhdistusprosesteista ja puhdistuskustannuksista, joten ne jäävät tulevan tutkimuksen teemaksi.

Maatalouden ja yhdyskuntajätevesien osalta tutkimme kuormituksen vähentämispotentiaalia, puhdistuksen kustannuksia sekä arvioimme kustannustehokkuuden

kriteerin valossa, kuinka osuvasti nykyiset, toisistaan riippumattomasti maatalouteen ja yhdyskuntajätevesiin asetetut vähennystavoitteet on asetettu. Samalla etsimme uusia avauksia, painopisteitä ja ohjauskeinoja kuormituksen rajoittamiseen. Vaikka näkökulmamme useimmiten on koko Suomi, kommentoimme erikseen myös Saaristomerellä ja Suomenlahden valuma-alueita. Pääosa raportista käsittelee maataloutta, joka on Suomen suurin vesistöjä kuormittava sektori.

2 Yhdyskuntajätevesikuormituksen puhdistuspotentiaali ja -kustannukset

Suomeen päästöt Itämereen vuonna 2008 olivat noin 74 000 tonnia typpeä ja 4100 tonnia fosforia (Taulukko A1, Liite 1). Hajakuormitus vastasi 81 prosentista ihmisen aiheuttamasta fosforikuormasta ja 61 prosentista typpikuormasta. Maatalous on Suomen suurin typpi- ja fosforikuormituksen lähde. Teollisuuden ja yhdyskuntajätevesien osuudet fosforin kokonaiskuormituksesta jäivät alle viiden prosentin. Yhdyskunnat ovat kuitenkin merkittävä typpikuormittaja aiheuttaen 15 prosenttia kokonaiskuormasta. (Saaristomeren kuormituksen määrät ja jakauma kuormittajien kesken, ks. Taulukko A5)

2.1

Yhdyskuntajätevesikuormituksen vähennyspotentiaali

Euroopan unionin yhdyskuntajätevesidirektiivi asettaa ravinteiden vähentämisaatimukset yhdyskuntajätevesilaitosten koon mukaan. Laitosten kokoa mitataan asukasvastineluvulla (avl), joka tarkoittaa sellaista orgaanista biologisesti hajoavaa kuormitusta, jonka viiden vuorokauden biokemiallinen hapenkulutus (BOD₅) on 60 grammaa hapetta vuorokaudessa. EU:n yhdyskuntajätevesidirektiivin mukaan laitoksilla, joiden asukasvastineluku on 10 000 – 100 000, kokonaisfosforin poistotehon tulee olla vähintään 80 prosenttia laitokselle tulevasta kuormasta. Vaihtoehtoisesti lähtevän jäteveden fosforipitoisuus saa olla korkeintaan 2 mg litrassa. Yli 100 000 asukasvastineluvun laitoksilla jälkimmäinen arvo on 1 mg litraa kohden. Kokonaistypen osalta poistotehon tulee olla vähintään 70–80 prosenttia tai vaihtoehtoisesti jäteveden typpipitoisuus ei saa ylittää 15 mg litrassa (10 mg litrassa yli 100 000 asukasvastineluvun laitoksilla). Riippuen paikallisista olosuhteista puhdistuksesta voidaan soveltaa yhtä tai kahta muuttujaa.

Suomi on noudattanut fosforin suhteen selvästi tiukempaa politiikkaa kuin jätevesidirektiivi edellyttää (puhdistustaso 96 prosenttia). Direktiivin soveltaminen typen puhdistukseen Suomessa perustuu EY:n tuomioistuimen antamaan päätökseen. Sen nojalla jätevesidirektiivin typpivaatimuksia on sovellettu direktiivin alarajan, 70 prosentin puhdistustason, mukaan puhdistamoihin, jotka sijaitsevat rannikolla ja välittömästi Itämeren tilaan vaikuttavien vesistöjen alueilla. Typen puhdistamiseen ei Suomessa ole perinteisesti asetettu painoa, mikä näkyy esimerkiksi siinä, että meillä on vielä suurehkoja puhdistamoja vailla typpivelvoitetta. Tilanne muuttuu kuitenkin koko ajan parempaan, koska parhaillaan on käynnissä direktiivin määrätietoinen toimeenpano.

Taulukko 1 esittää puhdistamoiden puhdistustehon vuonna 2008 nojaten VAHTI-tietokantaan sekä arvion ravinteiden puhdistuspotentiaalista¹ Puhdistamot on eroteltu koon mukaan kahteen luokkaan: pienet, 2000 – 10 000 avl-laitokset ja suuret, yli 10 000 avl-laitokset. Nämä kaksi puhdistamoluokkaa kattavat runsaat 85 prosenttia yhdyskuntien fosforin kokonaiskuormituksesta ja 91,5 prosenttia yhdyskuntien typen kokonaiskuormituksesta. Fosforin puhdistustaso on erittäin korkea molemmissa puhdistamoluokissa (95,8 % ja 94,8 %) ja se ylittää selkeästi direktiivin 80 % vaatimuksen ja Helcomin suositukset (Taulukko A2, Liite 1). Typen puhdistustaso on kuitenkin vielä alhainen: 64 % suurilla puhdistamoilla ja 40,1 % pienillä. Vuonna 2008 yli 10 000 asukasvastineluvun laitoksista vain 20 laitosta saavutti yhdyskuntajätevesidirektiivin 70 prosentin typpirajan ja 63 jäi sen alapuolelle. Tilanne paranee kuitenkin direktiivin soveltamisen myötä.

Taulukko 1. Puhdistamojen puhdistusteho ja kuormitus (tonnia)

Puhdistus/ Kuormitus	Fosfori			Typpi			
	Nykytila	Lisäpuhdistus	Nykytila	Lisäpuhdistus			
	2008	96 %	99 %	2008	70 %	85 %	90 %
Suuret laitokset	3 349	28	111	12044	3592	5775	6737
Pienet laitokset	388	7,5	17	930	727	1032	1134
Puhdistus yht.	3 737	35,5	128	12974	4319	6807	7871
Kuormitus	167	131,5	39	10 215	5 896	3 408	2 344

Puhdistamojen vähennyspotentiaalia arvioidaan Taulukon 1 sarakkeissa ”lisäpuhdistus” kasvattamalla puhdistustehoa asteittain ja olettamalla samalla, että yksikään puhdistamo ei vähennä puhdistusta nykytasoltaan. Typen vähennyspotentiaali on merkittävä. Jos sivuutetaan typen pidättyminen sisävesiin (Lounais-Suomessa noin 10 %), niin EU:n yhdyskuntajätevesidirektiivin voimaansaattaminen kaikissa yli 10 000 avl:n laitoksissa tuottaa Itämeren suojelun toimintaohjelman edellyttämän vähennyksen liki kolminkertaisena ja vähennysprosentin nostaminen parhaiden puhdistamojen (Helsinki, Turku) tasolle viisinkertaisena.² Puhdistustehon nostamisesta koituisi Saaristomeren alueelle kuormituksen laskuna noin 127 tonnia (70 % puhdistus) ja 460 tonnia (90 % puhdistus) ja Suomenlahden valuma-alueelle noin kaksinkertainen määrä.

Fosforin suhteen tilanne on toinen ja sen vähentämismahdollisuudet koko maan tasolla ovat alhaiset; tarjolla on vain paikallisia hyötyjä. Mikäli kaikkien kooltaan yli 2000 avl:n laitosten fosforin puhdistus kasvatetaan 96 prosenttiin, fosforinpoisto lisääntyy vain 35,5 tonnilla. Tämä laskisi Suomen kokonaisfosforikuormaa ainoastaan 0,9 prosenttia. Jos fosforinpoisto nostettaisiin 99 prosenttiin, niin fosforikuorma laskisi lähes 130 tonnia. Saaristomeren tältä vähennyksestä koituisi kuitenkin vain noin 20 tonnia, eli vajaa kymmenesosa vähennyksestä, joka arviolta tarvittaisiin veden tilan paranemiseen. Fosforipoiston suhteen mahdollisuudet ovat siten varsin rajalliset.

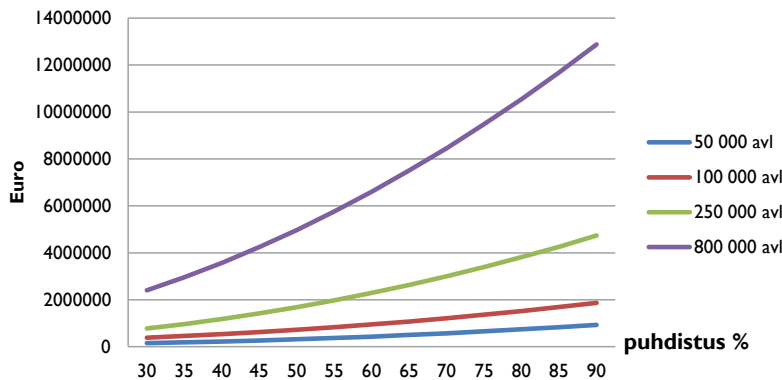
¹ Vähentämispotentiaali on laskettu käyttäen hyväksi vuoden 2008 ja 2007 tietoja Suomen yli 10 000 avl:n ja 2000 – 10 000 avl:n kokoisten jätevesipuhdistamojen puhdistus- ja kuormitustietoja VAHTI-tietokannasta. Luvuissa on harhaa niiltä osin kuin uusia investointeja on tehty typen puhdistustehon parantamiseksi, mutta seurantatiedot tarkentuvat hitaasti käyttökelpoisiksi luvuiksi.

² On hyödyllistä suhteuttaa vähennys myös Suomen kokonaistyyppikuormitukseen. Typen vähennysvaatimuksen nostaminen 70 prosenttiin, laskee Suomen kokonaistyyppikuormaa 5,8 prosenttia, mikä laskee kuormitusta lähes kaksinkertaisesti verrattuna haja-asutuksen kuormitukseen. Vähennyksen nostaminen 85 prosenttiin laskee kokonaistyyppikuormaa 8,8 prosenttia ja 90 prosentin vähennys 10,6 prosenttia.

Yhdyskuntajätevesien puhdistuskustannukset

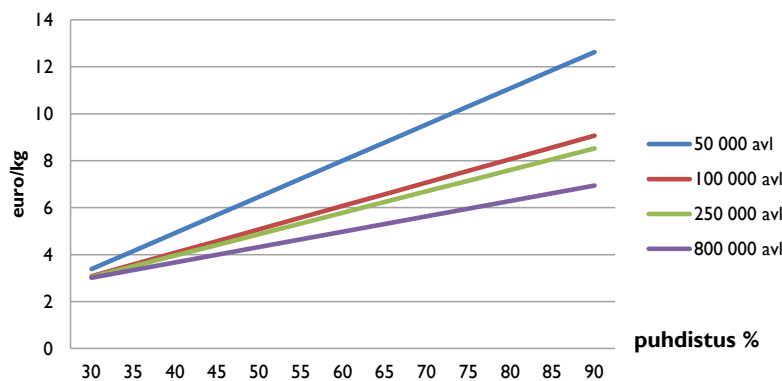
Puhdistuskustannusten määrittäminen yhdyskuntajätevesille on monessa mielessä haasteellista (Hautakangas ym. 2012). Seuraavassa esitettävät typen puhdistuskustannusfunktiot on johdettu Itämeren puhdistamoille nostamalla puhdistusta asteittain 30 prosentista ylöspäin aina 90 prosenttiin saakka olettaen samalla, että fosforista puhdistetaan laitoksissa noin 95 prosenttia. Koska moderni puhdistusteknologia on kaikkialla Itämerellä samankaltainen, voidaan näitä funktioita soveltaa hyvin myös Suomeen.

Kuva 1 havainnollistaa typen poiston kokonaiskustannuksia. Kustannukset vaihtelevat puhdistamojen koon mukaan: mitä suurempi puhdistamo, sitä suuremmat kokonaiskustannukset annetun puhdistusprosentin saavuttamisesta. Toinen tärkeä havainto on, että kustannukset ovat merkittävästi alhaisemmat kuin aiemmassa tutkimuksessa on yleensä luultu: typpeä on ajan myötä opittu puhdistamaan tehokkaammin.



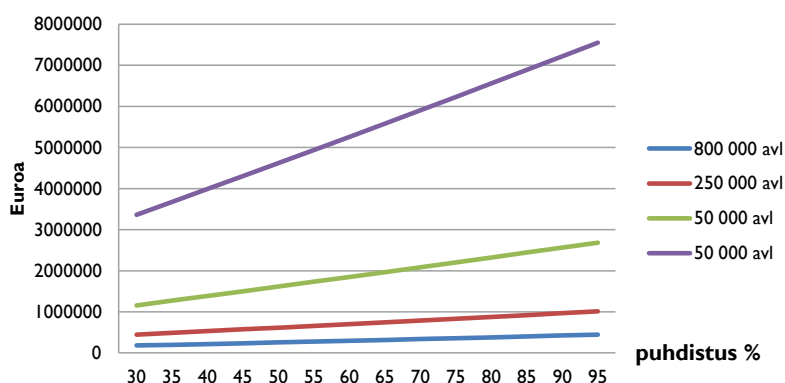
Kuva 1. Typen puhdistuksen kokonaiskustannukset puhdistamoissa (M€)

Kuva 2 esittää typen puhdistuksen rajakustannusfunktiot, jotka ovat tärkeitä etsittäessä kustannustehokasta puhdistusratkaisua. Suurten laitosten rajakustannukset ovat alhaisemmat kuin pienten laitosten rajakustannukset. Jätevesidirektiivin mukaisella 70 prosentin vähennystasolla suurimman kokoluokan rajakustannus on noin 5,5 euroa/typvikilo ja pienimmän 9,5 euroa/typvikilo. Puhdistuspotentiaalin ylärajalla, 90 prosentissa, korkein rajakustannus on jo noin 12 euroa/kg ja alhaisin 6 €/kg.



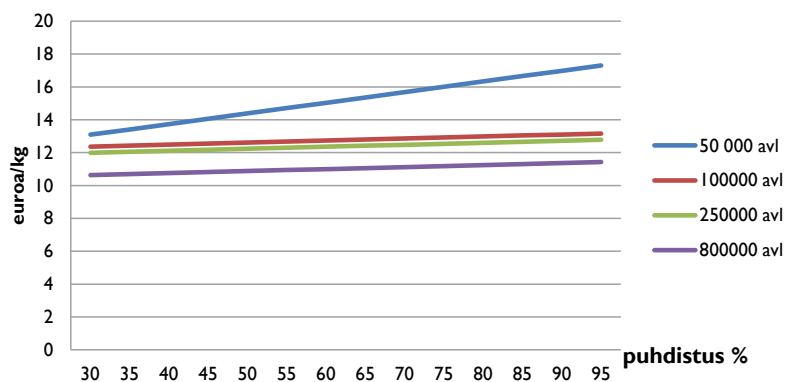
Kuva 2. Typen rajapuhdistuskustannukset puhdistamoissa (€/kg)

Fosforin puhdistaminen on teknisesti suoraviivaisempaa kuin typen puhdistus. Peruskeinona on kemiallinen saostus, joka vaatii jonkin verran laitteistoa ferrosulfaatin annosteluun sekä syntyneen lietteen käsittelyä. Kuvaan 3 on määritetty fosforin puhdistuksen kustannukset olettaen että typen puhdistus on 30 prosenttia.



Kuva 3. Fosforinpoiston kokonaiskustannus puhdistamoissa (M€)

Fosforin puhdistuskustannukset kasvavat jokseenkin lineaarisesti 95 prosenttiin saakka. Kokonaiskustannus on suurin suurissa puhdistamoissa. Kaiken kaikkiaan kustannukset ovat kuitenkin varsin alhaiset, joten Suomen korkea fosforin puhdistustaso on paitsi vesiensuojelullisesti myös kustannuksiltaan perusteltua. Fosforinpoiston rajakustannukset esitetään kuvassa 4.



Kuva 4. Fosforin rajapuhdistuskustannus puhdistamoissa (€/kg)

Pienimmän laitoksen (avl 50 000) kustannukset nousevat jonkin verran jyrkemmin kuin muiden. Suurimman laitoksen rajakustannus on jälleen alhaisin. Alhaisimmat rajakustannukset ovat 11.5 euroa/kg ja korkeimmat 17.5 euroa. Ero on merkittävän suuri, mutta jos sivuutetaan pienin kokoluokka, muiden kokoluokkien välinen ero on vain alle 2 euroa/kg fosforia.

Kaiken kaikkiaan puhdistuspotentiaalin ja puhdistuskustannusten tarkastelu osoittaa, että typen puhdistuksen tehostaminen puhdistamoissa on yllättävän edullista aina 90 prosenttiin saakka. Typeä on opittu puhdistamaan: allasratkaisujen jälkeen puhdistusta tehostetaan biologisin suodattimin, jotka ovat suhteellisen halpoja, mutta takaavat korkean puhdistustuloksen³. Myös fosforinpoiston kustannukset ovat suhteellisen alhaiset, mutta puhdistuspotentiaalia ei enää juurikaan ole.

³ Koko Itämeren tasolla puhdistamojen puhdistuspotentiaali on huikea: nostamalla fosforin puhdistus 95 prosenttiin ja typen 90 prosenttiin voitaisiin saavuttaa noin 70 prosenttia Itämeren suojelun toimintaohjelman fosforitavoitteista ja 62 prosenttia sen typitavoitteista. Ravinnepäästökauppa olisi luonteva kansainvälinen tapa realisoida tämä vähennyspotentiaali kustannustehokkaasti (ks. tarkemmin Hautakangas ja Ollikainen 2011)

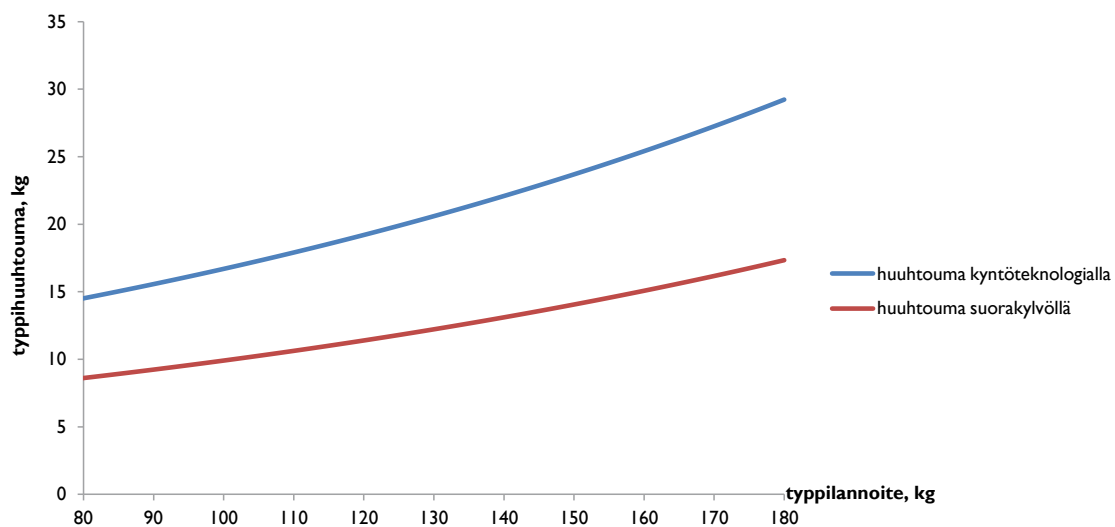
3 Maatalouden ravinnekuorman rajoittamiskeinot ja kustannukset

Ravinteiden vähennyspotentiaalia maataloudessa on hankala arvioida. Ravinnevähennyksiä saadaan vain tuotantoratkaisujen kautta joko muuttamalla tuotannon intensiteettiä ja kasvilajivalintaa tai ohjaamalla maata jo karanneiden ravinteiden kiinniottamiseen. Analysoimme ensiksi maatalouden ravinteiden vähennyspotentiaalia muokkausteknologian, lannoitevalintojen ja suojakaistan funktiona. Yhdyskuntajätevesien tapaan arvioimme toteutettua ravinteiden rajoittamispolitiikkaa ja lopuksi keskustelemme ravinteiden vähentämisen kustannuksista.

3.1

Maatalouden hajakuormituksen vähentämiskeinot

Typen huuhtoumalle pelloista ei ole Suomen aineistolla estimoitua huuhtoumafunktiota. Hyödynnämme seuraavassa tanskalaista Simmelsgaardin huuhtoumafunktiota, joka on kalibroitu vastaamaan Suomen oloja VIHMA-mallin tietojen avulla (Puustinen ym. 2010). Kuvan 5 kuvaajat esittävät typen huuhtoumaa muokkausteknologian (suorakylvö ja perinteinen muokkaus) ja typpilannoituksen funktiona. Suurin typikuorma liittyy perinteiseen kyntömuokkaukseen; huuhtouma laskee siirryttäessä suorakylvöön.

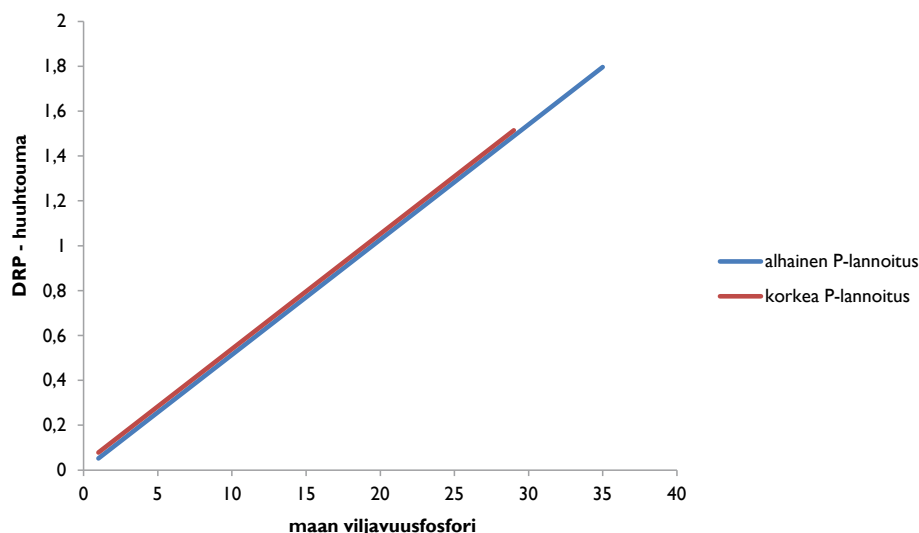


Kuva 5. Typpihuuhtouma viljelytekniikan ja lannoituksen funktiona (kg)

Alhaisilla lannoitustasoilla muokkausteknologian valinta vaikuttaa enemmän huuhtoumaan kuin itse lannoitus, mutta typpilannoituksen ylittäessä 100 kiloa hehtaarilta lannoitus kasvattaa huuhtoumaa kiihtyen. Suorakylvö vähentää tehokkaasti typpi-huuhtoumaa, mutta se sopii vain pelloille, joiden vesitalous sallii peltojen kuivuvan riittävän nopeasti toukokuulle. Kevytmuokkaus tai perinteinen kyntö sopivat hitaasti kuivuville pelloille. Typpikuormitusta voidaan rajoittaa nopeimmin muuttamalla muokkausteknologiaa tai siirtymällä kasveihin, joiden typpitarve on alhainen. Joskus typen vähentäminen voi kasvattaa fosforihuuhtoumaa – esimerkiksi siirtyminen suorakylvöön voi lisätä liukoisen fosforin huuhtoumaa.

Fosforia huuhtoutuu maataloudesta kahdessa muodossa: partikkelifosforina ja liukoisena fosforina. Vain pieni osa partikkelifosforista on leville käyttökelpoisessa muodossa (arviolta 16 %), kun taas liukoinen fosfori on heti käytettävissä leväkasvuun. Liukoisen fosforin huuhtouma riippuu maan viljavuusfosforin määrästä, joka muuttuu ajassa erittäin hitaasti. Vuotuinen fosforilannoitus selittää huuhtoumasta vain murto-osan. Partikkelifosforin huuhtouma riippuu ennen muuta eroosion määrästä.

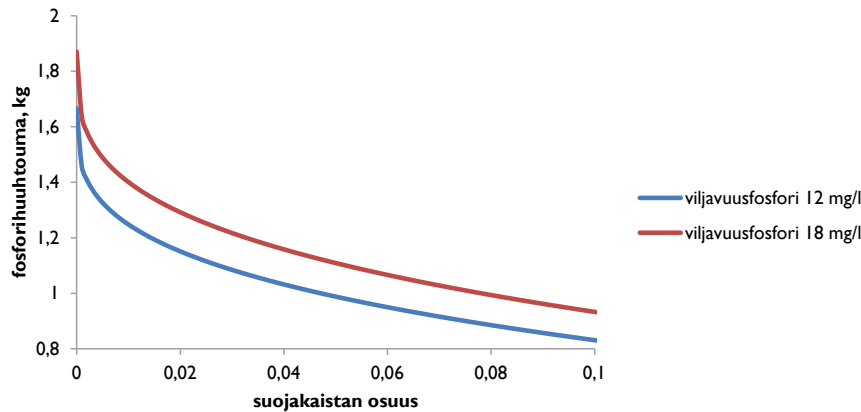
Kuva 6 havainnollistaa liukoisen fosforin (DRP) huuhtoumaa maan viljavuusfosforin funktiona, kun vuotuisesta fosforilannoituksesta tehdään radikaalisti toisistaan poikkeavat oletukset: fosforilannoitus on joko 15 kg tai epärealistisesti 150 kg hehtaarilta.



Kuva 6. Liukoisen fosforin huuhtouma maan viljavuusfosforin funktiona (kg/P-luku)

Kuvan 6 viesti on selvä. Vuotuisen fosforilannoituksen vaikutus leville välittömästi käyttökelpoisen liukoisen fosforin huuhtoumaan on mitätön, mutta maan viljavuusfosforin vaikutus on suuri. Siksi liukoisen fosforin huuhtoumaa voidaan vähentää vain laskemalla maan viljavuusfosforin tasoa, joka muuttuu hitaasti ajassa vuotuisen lannoituksen ja kasvien myötä poistuvan fosforin erotuksen mukaan. Esimerkiksi Suomen maatalouden ympäristötukiohjelma on ollut voimassa pian 20 vuotta. Tänä aikana peltojen keskimääräisen viljavuusfosforin arvioidaan alentuneen tasolta 12.6 mg/l tasolle 10,6/mg/l. Liukoisen fosforihuuhtouman vähentämiseen tarvitaan siten vuotuisen lannoituksen johdonmukaista rajoittamista ja pitkää aikahorisonttia.

Partikkelihuuhtoumaan vaikuttaa ennen muuta eroosion torjunta ja viljelysmaan rakenne. Partikkelihuuhtoumaa voidaan vähentää nopeammin kuin liukoista fosforia. Kuva 7 havainnollistaa leville käyttökelpoista partikkelihuuhtoumaa eroosiota sitovan suojakaistan leveyden funktiona, kun maan viljavuusfosforin tasoksi oletetaan vaihtoehtoisesti 12 mg/l tai 18 mg/l. Suojakaista ilmaistaan prosenttina peltolohkon pinta-alasta. Kun tiedetään peltolohkon muoto (sivujen pituudet), voidaan suojakaistan leveys määrittää yksikäsitteisesti metreissä.



Kuva 7. Partikkelihuuhtouma suojakaistan leveyden funktiona (kg/suojakaistan osuus)

Kuvan prosentit osoittavat, että suojakaistan ensimmäiset metrit sitovat tehokkaasti partikkelihuuhtoumaa, mutta suojakaistan ravinteiden sitomisteho laskee asteittain. Suojakaistat sitovat tehokkaasti huuhtoutuvaa maa-ainesta kasvukauden aikana, mutta heikosti tai eivät laisinkaan kasvukauden ulkopuolella, jolloin pääosa ravinnehuuhtoumasta tapahtuu. Kasvipeitteisinä maapalstoina ne vähentävät eroosiota toki tällöinkin oman pinta-alansa verran. Suojakaistoihin liittyy myös muita, esimerkiksi maisema- ja monimuotoisuushyötyjä, jotka nostavat niiden ympäristöllistä arvoa ja roolia ympäristöohjauksessa.

Ravinteiden kokonaishuuhtouma riippuu hehtaarikohtaisen huuhtouman lisäksi myös muista tekijöistä. Typen kokonaishuuhtoumaan vaikuttavat viljelysmaan kokonaispinta-ala ja koska kasvien typpitarve vaihtelee, eri kasvien pinta-alaosuudet. Fosforin kokonaishuuhtouma puolestaan riippuu viljelysmaan kokonaispinta-alan ohella peltolohkojen viljavuusfosforin jakaumasta. Tämän vuoksi maatalouden ravinnekuormituksen ohjauksen tulisi vaikuttaa sekä hehtaarikohtaiseen huuhtoumaan että viljelysmaan kokonaismäärään ja kohdistamiseen kasvien kesken.

Maatalouden ympäristöohjelman arviointia

Kuinka hyvin Suomen maatalouden vapaaehtoiseen osallistumiseen perustuva ympäristöohjelma on onnistunut ravinnekuormituksen rajoittamisessa? Poliitiikan vaikutuksia voidaan arvioida tutkimalla, kuinka viljelijät ovat toimineet ympäristöohjelman oloissa ja kuinka he olisivat toimineet, jos ympäristöohjelmaa ei olisi ollut, mutta yleinen CAP politiikka olisi muutoin voimassa. Lankoski ja Ollikainen (2011) analysoivat politiikkaa koko Suomen tasolla ja Wilander ym. (2012) tarkastelevat erikseen politiikan onnistumista Saaristomerren valuma-alueella. Seuraavaan on koottu näiden töiden päähavainnot.

Taulukko 2 esittää mallilaskelmin tuotetun arvion Suomen maatalouden toteutuneesta ravinnehuuhtoumasta vuosien 1995, 2001 ja 2007 aikana. Laskelmaa varten on ensiksi määritetty keskimääräinen hehtaarikohtainen huuhtouma eri kasveille ja kokonaishuuhtoumat on tuotettu kasvien pinta-alojen avulla (ks. taulukot A3 ja A4, Liite 2).

Taulukko 2. Fosfori- ja typpihuuhtouma Suomen maatalouden ympäristöohjelman oloissa vuosina 1995, 2001, ja 2007 (tonnia)

Viljely- kasvi	1995		2001		2007	
	N	P	N	P	N	P
vehnä	1 894	97	2 481	121	4 151	166
ohra	10 347	568	10 969	572	11 825	544
kaura	6 601	362	8 473	438	7 461	352
rypsi	1 834	91	1 571	76	2 079	89
tuorerehu	3 391	257	4 883	301	8 544	332
heinä	1 962	224	1 076	114	756	70
kesanto	1 129	155	1 021	130	613	74
muut	4 693	303	4 705	271	8 184	376
Yhteensä	31 851	2 056	35 180	2 024	43 613	2 003

Taulukko 2 osoittaa, että koko maan tasolla typpikuormitus on kasvanut ja fosfori-huuhtouma lievästi laskenut. Typpikuorman kasvu on havaittu myös muissa tutkimuksissa ja se johtuu lähinnä kolmesta seikasta. Peltopinta-ala on kasvanut (runsaat 100 000 ha), suurempia pinta-aloja on kohdistettu vehnän kaltaisille paljon typpeä tarvitseville kasveille ja viimeisellä tukikaudella maatalouden ympäristöohjelman ehdot sallivat edelliskausia korkeamman typpilannoitustason. Fosforikuormituksen lasku johtuu lähinnä maan viljavuusfosforin lievästä laskusta, joka on tuotettu tiukoilla vuotuisilla fosforilannoitusrajoilla. Suojakaistojen rooli huuhtouman vähentäjänä on jäänyt pieneksi, koska suojakaistojen pinta-ala on alta prosentin luokkaa. Lisäksi, kuten toisaalla on todettu, ympäristöohjelma ei kohdistu suojelutoimia tehokkaasti juuri huuhtoumaherkille alueille.

Toteutunut kehitys ei vastaa maatalouden ympäristöohjelmalle estettyjä tavoitteita vähentää ravinnehuuhtoumaa 30 prosenttia vuosien 2001–2005 keskimääräisestä tasosta. Tämän selvityksen lukujen nojalla keskimääräistaso on ollut noin 36 000 t typpeä ja 2 010 fosforia. Nämä luvut määrittävät typen ja fosforin tavoitehuuhtoumaksi noin 25 200 tonnia (typpeä) ja 1 400 tonnia (fosforia). Vuonna 2007 toteutuneen kuormituksen ja tavoitteen välinen erotus on typen suhteen 18 400 tonnia ja fosforin osalta 600 tonnia. Ei ole mitään syytä olettaa, että asetettuihin tavoitteisiin päästäisiin vuoteen 2015 mennessä.

Maatalouden ympäristöohjelma ei silti ole ollut täysin tehoton. Tästä voidaan varmistua kahdella tapaa. Oletetaan ensiksi, että pellon määrä ja jakauma kasvien kesken eivät olisi muuttuneet vuoden 1995 tilanteesta, johon maatalouden ympäristöohjelma alun perin suunniteltiin. Taulukko 3 kertoo miltä ravinnekuormitus olisi näyttänyt näissä oloissa.

Taulukko 3. Typen ja fosforin huuhtouma, kun viljelymaan määrä ja jakauma kasvien kesken olisi säilynyt vuoden 1995 mukaisena

Maan allokatio	1995		2001		2007	
	N	P	N	P	N	P
Nykytila	31 851	2056	35 180	2024	43 613	2 003
1995 tila	31 851	2056	32 398	1938	36 519	1 833
Erotus	-	-	2 782	86	7 094	160

Taulukko 3 osoittaa, että typpikuorma olisi joka tapauksessa kasvanut, mutta selvästi vähemmän kuin mitä todellisuudessa. Vuoden 1995 maan allokatiolla typpikuorma olisi ollut vuonna 2001 vain aavistuksen suurempi kuin vuonna 1995.⁴ Merkittävä nousu huuhtoumassa (yli 4000 tonnia) vuonna 2007 johtuu siitä, että maatalouden ympäristöohjelma yksinkertaisesti sallii korkeamman typpilannoituksen (ostotyypen ja lannankäytön perusteella keskimääräinen vuotuinen typpilannoitustaso on yli 120 kg/ha). Erotus kuormituksessa nykytilan ja vuoden 1995 mukaisella maan allokation välillä kasvaa koko ajan ja on vuonna 2007 jo yli 7000 tonnia. Tämä on käytännössä yhtä suuri kuin edellä nähty yhdyskuntajätevesien puhdistuspotentiaali. Vuoden 1995 peltopinta-alalla fosforikuorma olisi laskenut paljon voimakkaammin kuin se todellisuudessa laski. Verrattuna vuoden 1995 tasoon fosforikuorma olisi laskenut noin 220 tonnia, mikä vastaisi 11 prosentin vähennystä maatalouden fosforikuormaan. Vähennys olisi merkittävä, mutta se ei silti olisi toteuttanut 30 prosentin vähennystavoitteesta. Analyysi osoittaa myös sen, että maatalouteen ei toistaiseksi ole löydetty erityisen hyvin toimivia keinoja ravinteiden pidättämiseen pelloilla.

Viljelysmaan määrän kasvu ja siirtyminen kohti typpi-intensiivisiä kasveja selittävät pääosan typpihuuhtouman kasvusta ja fosforikuorman hitaasta laskusta. Tärkeää on kuitenkin huomata, että maatalouden ympäristöohjelmalla ei ole ollut mahdollisuutta rajoittaa pellonraivausta. Lisäksi kahden ensimmäisten ohjelmakauden aikana kasvijaalintaa ohjattiin ohjelman ulkopuolelta lähinnä kansallisten kasvi- ja tuotantoeläin-kohtaisten tukien avulla ja kun siirryttiin yhtenäiseen tilatukeen, markkinat ohjaavat mitä kasveja viljellään. Lopputuloksena on, että hehtaari-kohtaisten vähennysten jäädessä pieneksi ohjelmalle ei jäänyt tehokkaita keinoja kontrolloida kokonaispäästöjä. Ympäristöohjelma on kuitenkin itse osavastuussa viimeisimmän tukikauden typpikuorman kasvusta, koska se sallii aiempaa suuremman typpilannoituksen.

Toinen näkökulma ympäristöohjelman onnistumiseen saadaan, kun kysytään, kuinka suuri ravinnekuorma olisi, jos ympäristöohjelmaa ja sen mukaista hehtaaritukea ei olisi ollut ja viljelijöiden olisi annettu valita lannoitetasonsa ja muut tuotannontekijät vapaasti. Tähän kysymykseen esitetään vastaus taulukossa 4. Taulukko on tuotettu olettaen, että viljelijät olisivat pitäneet vuotuisen fosforilannoituksensa 1990-luvun alkupuolen tasolla, jolloin maan viljavuusfosfori olisi säilynyt alkuperäisellä tasollaan 12,6 mg/l.

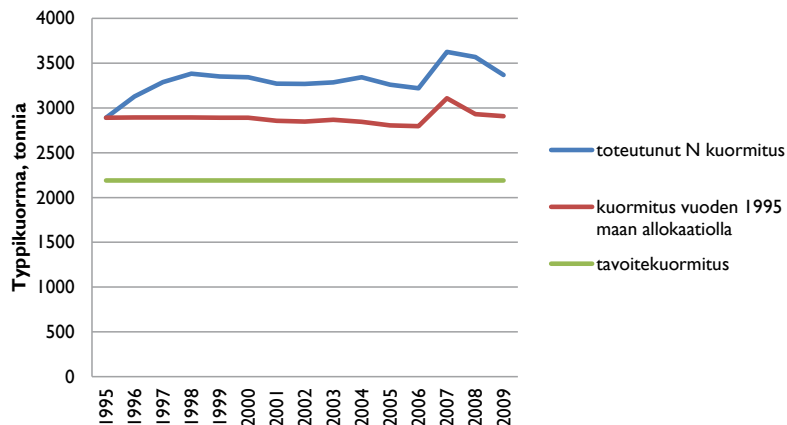
⁴ Tämä johtuu lähinnä siitä, että jollakin kasveilla oli optimaalista lannoitusta vähemmän kuin typpilannoitusrajat sallivat, mutta vuonna 2001 lannoitus on ollut kannattavaa nostaa typpirajaan saakka.

Taulukko 4. Typpi- ja fosforihuuhtouma vapaan optimin ja ympäristöohjelman oloissa vuosina 1995, 2001, and 2007

	1995		2001		2007	
	N	P	N	P	N	P
Ympäristö-ohjelma	32 215	2588	35 164	2 553	36 573	2 444
Vapaa optimi	35 211	2451	36 158	2 494	40 194	2 577
Erotus	- 2 996	+137	-993	+59	-3 622	-133

Vapaa optimi johtaa asteittain nykyistä suurempaan typpi- ja fosforikuormaan. Tämä osoittaa, että ympäristöohjelmalla on ollut kuormitusta rajoittava vaikutus. Se on kuitenkin jäänyt suhteellisen vaatimattomaksi ja on suorastaan mitätön suhteessa vuosittain ympäristötukena maksettuun 300 miljoonaan euroon. Yleisjohtopäätöksenä voidaan todeta, että maatalouden ympäristöohjelma on onnistunut jonkin verran rajoittamaan hehtaarikohtaista kuormitusta, mutta peltopinta-alan kasvu ja typeä paljon tarvitsevien kasvien pinta-alan lisääntyminen on kasvattanut päästöjä enemmän kuin niitä on hehtaarikohtaisesti vähennetty. Siksi typpikuorma on kasvanut ja fosforikuorma laskenut vain vähän.

Maatalouden kuormituksen kehitys Saaristomerän valuma-alueella on ollut koko maan kehitystä synkempi: sekä typpi- että fosforikuormitus ovat kasvaneet (Wilander ym. 2012). Kuva 8 havainnollistaa typen toteutunutta huuhtoumaa, ja huuhtoumaa, kun maan allokaatioksi oletetaan vuosi 1995. Kuvan alin viiva esittää Saaristomerelle asetettua 30 prosentin vähennystavoitetta.



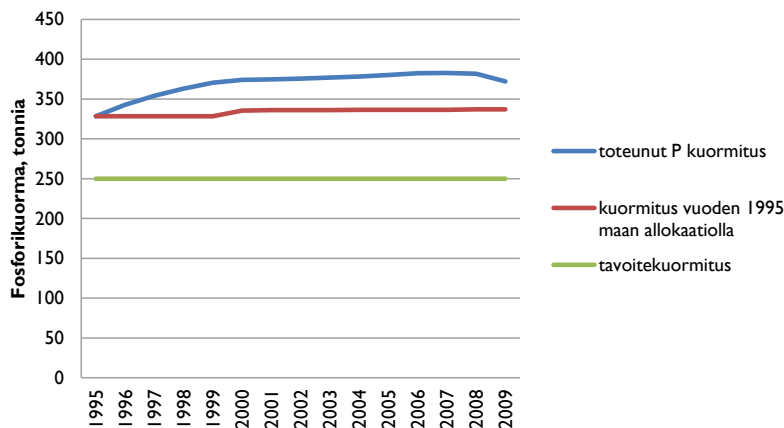
Kuva 8. Vesien suojelupolitiikan keinojen tehokkuus typpihuuhtouman vähentämisessä

Kuvan ylimmän ja alimman kuvaajan erotus osoittaa, kuinka paljon toteutunut huuhtouma ylittää ravinnekuormituksen vähentämistavoitteen. Yhteiskunnan tavoite on rajoittaa typpikuorma Saaristomerellä 2 190 tonniin. Kun vuonna 1995 tästä tavoitteesta oltiin jäljessä noin 850 tonnia, kuilu toteutuneen kuorman ja tavoitteen välillä on kasvanut 1 176 tonniin vuoteen 2009 mennessä. Vuonna 2009 kokonaistyppikuormitus oli 475 tonnia korkeampi kuin vuonna 1995.⁵ Peltopinta-alan kasvun ohella typpikuormituksen kasvua selittää alueen korkea keskimääräinen hehtaarikohtainen

⁵ Kuvan 8 arvio typpikuormasta on hyvin linjassa muiden vastaavien tutkimusten kanssa. Varsinais-Suomen ELY-keskuksen raportissa (2011) arvioitiin maatalouden typpikuormaksi vuosina 2005–2009 keskimäärin 3 404 tonnia vuosittain, mikä käytännössä sama kuin arviomme vuoden 2009 tasosta. Suomela ja Sydänoja (2006, 5) raportoivat hieman suuremman typpikuorman, noin 4 250 tonnia vuosittain.

typpilannoitus. Toisin kuin fosforin käyttö, keinolannoite- ja lantatypen levitys ei ole laskenut Saaristomeren valuma-alueella tukikausien aikana ja on ollut keskimäärin noin 130 kg/ha (Wilander ym. 2012).

Tarkastelemme seuraavaksi fosforihuuhtoumaa samalla tapaa kuin typpikuormitusta. Kuva 9 havainnollistaa kehitystä.



Kuva 9. Vesiensuojelupolitiikan keinojen tehokkuus fosforihuuhtouman vähentämisessä (t/v)

Fosforihuuhtouma on kasvanut vuodesta 1995 lähtien, jolloin kuormitus oli noin 330 tonnia. Kasvua selittää lähinnä viljelypinta-alan kasvu, joka on ollut voimakkaampaa Saaristomeren valuma-alueella kuin muualla Suomessa sekä maan viljavuusfosforin nousu, mikä on kasvattanut liukoisen fosforin huuhtoumaa. Vasta vuonna 2009 on havaittavissa pientä huuhtouman laskua, joka johtuu viljelypinta-alan laskusta. Fosforihuuhtouma on kaukana 30 prosentin vähennystavoitteesta, 250 tonnista. Kun kuormituksen ja tavoitteen erotus vuonna 1995 oli 78 tonnia, se on kasvanut 120 tonniin vuoteen 2009 mennessä. Kehityksen suunta Saaristomerellä, joka on Suomen merensuojelun erityispainopiste, on siis ollut päinvastainen kuin Suomessa keskimäärin⁶.

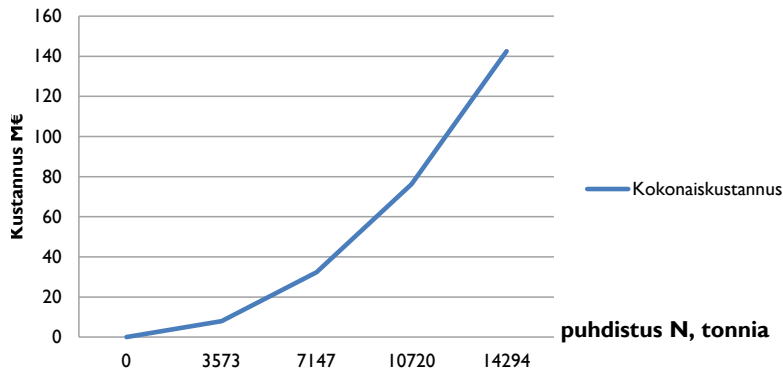
3.3

Ravinteiden vähentämiskustannukset maataloudessa

Kysytään lopuksi kuinka kallista ravinnehuuhtouman rajoittaminen on maataloudessa. Selittävätkö korkeat kustannukset osaltaan ohjelman vaatimatonta menestystä? Ravinteiden vähentämisen kustannukset vaihtelevat alueittain ja peltolohkoittain – tässä työssä kustannukset arvioidaan keskimääräisten tuotanto-olojen mukaisesti. Jotta tarkasteluun saadaan sekä kasvinviljely että kotieläintuotanto, kustannukset on johdettu käyttäen teoreettista kasvinviljely-kotieläin tilaa, joka tuottaa karja- ja sikatalouden tuotteita sekä viljaa (tarkka kuvaus Lankoski and Ollikainen 2012). Mallissa keinoja ravinnehuuhtouman vähentämiseen ovat lannoitteiden (lanta ja keinolannoite) käyttö, tuotantoeläinten lukumäärä, suojakaistat ja pitkäaikaiset viherkesannot. Maatalouden kokonais- ja rajakustannuksia kuvataan kuvissa 10-13.

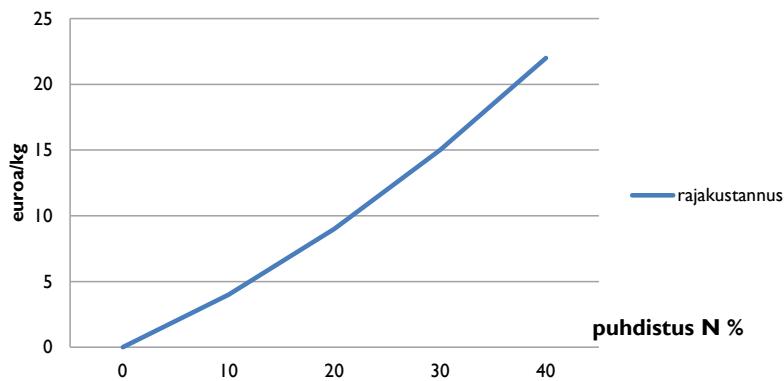
Kuvassa 10 esitetään typpihuuhtouman vähentämisen kokonaiskustannukset keskimääräisiltä peltolohkoilta vuoden 2010 peltomäärän ja kasvilajijakauman pohjalta.

⁶ Kuvan 9 toteutunut fosforikuormitus on vuosina 2005–2009 keskimäärin 369 tonnia vuodessa. Se on hieman korkeampi kuin Varsinais-Suomen ELY-keskuksen raportin 340 tonnia, melkein identtinen Suomalaisen ja Sydänojan (2006, 5) arvioiden (368 tonnia vuosittain) kanssa.



Kuva 10. Typpikuorman vähentämisen kokonaiskustannukset maataloudessa (M€/t)

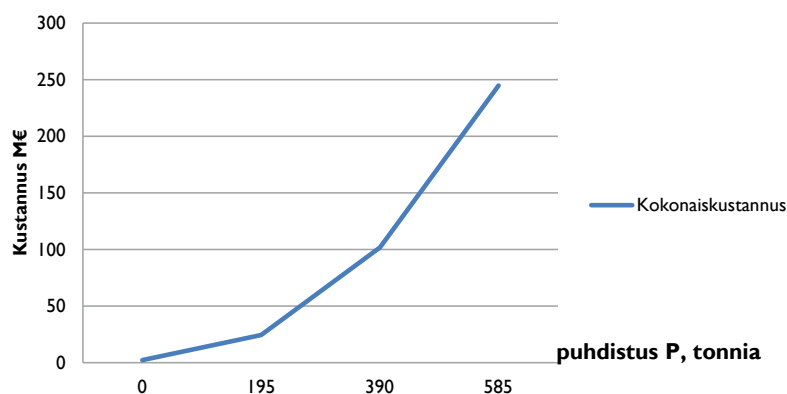
Kustannukset nousevat jokseenkin tasaisesti ja ovat noin 80 M€, kun typpihuuhtoumaa on rajoitettu noin 30 prosenttia. Keskeiset toimenpiteet, joilla vähennys saavutetaan, ovat suojakaistojen koon kasvattaminen ja lannoitustasojen laskeminen sekä viherkesannot. Kuvassa 11 esitetään typen puhdistuksen rajakustannukset, euroa per puhdistuskilo, eri vähennystasoilla.



Kuva 11. Typpikuorman vähentämisen rajakustannukset maataloudessa (€/kg)

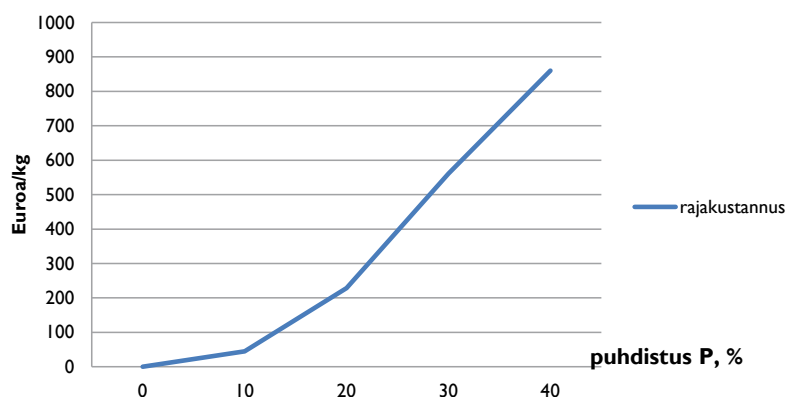
Rajakustannukset nousevat jokseenkin lineaarisesti ja rajakustannus on 30 prosentin vähennystasolla noin 15 euroa typpikilo. Kustannukset ovat hieman suuremmat kuin edellä nähdyt puhdistamojen rajakustannukset typen 90 prosentin puhdistustasolla. Tehokkaassa puhdistusratkaisussa (rajakustannusmielessä) maatalouden 30 prosentin puhdistustasoa vastaa noin 90 prosentin puhdistustaso puhdistamoissa.

Kuvassa 12 havainnollistetaan maatalouden fosforikuorman vähentämisestä koituvia kokonaiskustannuksia. Ne kohovat noin 140 miljoonaan euroon, kun fosforia on vähennetty vaaditut 30 prosenttia (noin 600 tonnia). Kustannukset koituvat lähinnä eroosion torjunnasta.



Kuva 12. Fosforikuorman vähentämisen kokonaiskustannukset maataloudessa (M€/t)

Kokonaiskustannusten nousuvauhti on suhteellisen voimakas, mikä heijastuu erittäin jyrkästi nousevina puhdistuksen rajakustannuksina, kuten kuva 13 osoittaa.



Kuva 13. Fosforikuorman vähentämisen rajakustannukset maataloudessa (€/kg)

Fosforikuorman vähentämisen rajakustannukset ovat alhaiset vain ensimmäiselle 10 prosentin vähennykselle, sen jälkeen ne kasvavat kiihtyen. Jos fosforikuormaa rajoitetaan 20 prosenttia, on rajakustannus jo yli 200 euroa kilolta ja 30 prosentissa se nousee jo noin 600 euroon. Ero puhdistamojen noin 17 euron rajakustannukseen on merkittävän suuri, mutta on kuitenkin muistettava, että puhdistamoissa ei ole enää puhdistuspotentiaalia.

4 Ravinnekuormituksen kustannustehokas vähentäminen

Yhteiskunnan on järkevää pyrkiä minimoimaan annetun kuormituksen vähentämistavoitteen saavuttamisesta koituvat kustannukset; muu olisi niukkojen resurssien hukkaamista tai ympäristön tilan parantamisen mahdollisuuksien laiminlyömistä. Kustannukset minimoituvat, kun vähennysvelvoitteet kohdistetaan kuormittajille niin, että kaikkien rajapuhdistuskustannukset ovat vaaditulla puhdistustasolla yhtä suuret. Tarkastelemme seuraavaksi, millaiselta kustannustehokas puhdistusratkaisu näyttää maatalouden ja yhdyskuntajätevesien kesken. Taulukko 5 kokoaa edellä esitetyistä kustannusfunktioista tietoa puhdistamisen rajakustannuksista ja kokonaiskustannuksista maataloudessa ja puhdistamoissa, kun kummallakin sektorilla pyritään vähentämään typpeä 10–30 prosenttia nykytasosta.

Taulukko 5. Typen puhdistamisen kokonais- ja rajakustannukset maataloudessa ja yhdyskuntajätevesipuhdistamoissa

Maatalous				Yhdyskuntajätevedet			
Vähennys		Puhdistuskustannus		Vähennys		Puhdistuskustannus	
%	tonnia	Kokonaiskust. M€	Rajakust. €/kg	%	tonnia	Kokonaiskust. M€	Rajakust. €/kg
10	3 573	10	4,4	70	3 926	29	7,6
20	7 147	35	9,4	80	5 391	43	8,7
30	10 720	80	15,2	90	7 307	63	11,7

Taulukosta 5 voi lukea ulos kiinnostavan tuloksen. 10 prosentin vähennys maatalouden typpikuormassa on edullisempaa kuin typen puhdistuksen nostaminen 64 prosentista 70 prosenttiin puhdistamoissa. Tällä puhdistustasolla sekä rajakustannukset että kokonaiskustannukset maataloudessa alittavat puhdistamoiden kustannukset. Mutta kun puhdistustasoa nostetaan maataloudessa 20–30 prosenttiin ja puhdistamoissa 80–90 prosenttiin, niin teknologiset puhdistusprosessit puhdistamoissa tulevat edullisemmaksi rajakustannusmielessä ja vielä 90 prosentin tasolla myös puhdistamojen kokonaiskustannukset alittavat maatalouden kustannukset. On siis perusteltua siirtää typen puhdistuksen painopistettä myös puhdistamoihin, kun maatalouden typpikuormaa on vähennetty 10 prosenttia. Rajakustannukset ovat jokseenkin yhtä suuret, kun maatalous vähentää typpeä 30 prosenttia ja suuret puhdistamot 90 prosenttia, joten nämä prosentit muodostavat rajakustannusten valossa kustannustehokkuuskriteerin mukaiset typen vähentämisen tavoitteet kummallekin sektorille.

Taulukko 5 määrittää toimien edullisuusjärjestyksen, mutta yhteiskunnan on erikseen päätettävä, kuinka paljon se lopulta haluaa puhdistettavan typpeä. EU:n yhdyskuntajätevesidirektiivin toimeenpanon myötä yhdyskuntien typen puhdistus lähenee 70 prosentin tasoa, jolloin typen poisto lisääntyy arviolta 2 500–3 000 tonnia.

Tämä yksin riittää Itämeren suojelun toimintaohjelman tavoitteiden saavuttamiseen, koska merkittävä osa vähennyksestä toteutuu Suomenlahden alueella. Kunnianhimoisempi tyypitavoite, 90 prosentin puhdistus yli 10 000 avl:n laitoksissa maksaa vuosittain 60 M€ ja se siis vastaisi maatalouden 30 prosentin vähennyksen kustannustehokkuustasoa.

Kustannusten näkökulmasta katsottuna puhdistamot ja maatalous eroavat toisistaan sekä kustannusten aikaprofiilin että maksupohjan suhteen. Puhdistamojen tulee tehdä typen puhdistuksen tehostamiseksi kalliita investointeja, joiden elinikä on noin 30 vuotta. Rahaa siis tarvitaan aluksi paljon, mutta siitä saadaan puhdistushyötyjä pitkään. Taloudellisessa tehokkuustarkastelussa korkeat investointikustannukset jakautuvat pitkälle ajalle. Maataloudessa kustannukset ovat lähinnä vuosittaisia kustannuksia ilman suurta investointitarvetta.

Tarkastellaan seuraavaksi typen puhdistuskustannusten maksupohjaa. Valtioneuvoston periaatepäätöksen mukainen typen 30 prosentin vähennystavoite maksaa maataloudelle 80 M€ vuodessa. Suomessa on noin 61500 maatilaa, joissa keskimäärin kaksi aikuista (noin 123 000 henkilöä) osallistuu maataloustuotantoon. Jakamalla 80 M€ näillä lukumäärillä, saadaan maatalouden kustannukseksi vuosittain noin 1 300 euroa tilaa ja 650 euroa henkilöä kohden. Jos yli 10 000 avl:n laitoksilla vaaditaan 90 prosentin typenpoistoa, niin kokonaiskustannus on 60 M€ vuosittain. Suomessa on 64 suurempaa laitosta ja maksajia noin miljoona kotitaloutta, joten kustannus vuosittain kotitaloutta kohti on 60 euroa ja kotitalouden (kahta) aikuista kohtia 30 euroa. Nämä luvut tarjoavat pohjaa miettiä paitsi kustannustehokkuutta myös vesiensuojeluväitteiden oikeudenmukaisuutta. Samalla on kuitenkin muistettava, että maatalouteen maksetaan erillistä ympäristötukea noin 110 euroa hehtaarilta (keskimääräinen tilakoko on Suomessa 37 ha) ja kokonaisuudessaan noin 300 miljoonaa euroa, josta osa on faktisesti tulotukea.

Taulukossa 6 tarkastellaan fosforin puhdistamisen määriä ja kustannuksia. Maataloudessa kuormitusta oletetaan vähennettävän nykytilasta 10 – 30 prosenttia ja puhdistamojen osalta oletetaan, että kaikkien laitosten on puhdistettava vähintään 95 prosenttia ja yksikään tätä enemmän puhdistava laitos ei vähennä puhdistustaan. Luvut näyttävät hyvin toisenlaisilta kuin tyypeä koskevat tulokset: puhdistamoista ei juurikaan saada lisäapua suojeleluun.

Taulukko 6. Fosforin puhdistamisen kokonais- ja rajakustannukset maataloudessa ja yhdyskuntajätevesipuhdistamoissa

Maatalous				Yhdyskuntajätevedet			
Vähennys		Puhdistuskustannus		Vähennys		Puhdistuskustannus	
%	tonnia	Kokonaiskust M€	Rajakust. €/kg	%	tonnia	Kokonaiskust M€	Rajakust. €/kg
10	195	20	45	80	0	0	0
20	390	60	229	90	0	0	0
30	585	140	561	95	4	0	17

Maatalouden osalta jo 10 prosentin vähennys fosforin huuhtoumassa johtaa 45 euron suuruisiin rajakustannuksiin ja 20 prosentin vähennys 229 euron rajakustannuksiin. Kokonaiskustannukset säilyvät kuitenkin vielä maltillisina (20 ja 60 M€), mutta 30 prosentin vähennysvelvoite on erittäin kallis, yhteensä 140 M€.

Kuten edellä todettiin, nostamalla puhdistamojen puhdistusta yli nykyisen 96 prosentin, ei enää tuo juurikaan vähennystä fosforikuormaan. Täten kustannustehokkuustarkastelun nojalla 10 prosentin vähennys maataloudessa on edullisin ja siten hyvin perusteltu ratkaisu. Fosforikuorma vähenee kaikkiaan noin 195 tonnia ja vähen-

nyksestä koituu arviolta 45 tonnia Suomenlahteen ja noin 25 tonnia Saaristomerelle.⁷ Tämä ei vielä vastaa Itämeren suojelun toimintaohjelman sitoumusta vähentää 120 tonnia fosforia Suomenlahteen. Fosforitavoitteen puuttuvan osan saavuttamiseksi joudutaan pohtimaan, mistä saadaan edullisimmin muu vähennys: maataloudesta, puhdistamoista (97–98 prosentin puhdistustaso), vai teollisista pistekuormittajista.

Kokonaiskustannus maataloudessa 20 prosentin vähennyksen saavuttamisesta ei ole kovin suuri, 60 M€, mutta todennäköisesti se ei ole kovin suuri muuallakaan (esimerkiksi Ruotsissa fosforinpoisto puhdistamoissa on 97 prosentin luokkaa). Jos maatalous vähentäisi 20 prosenttia fosforikuormastaan, tästä koituisi arviolta 95 tonnin vähennys Suomenlahteen tulevaan fosforikuormaan, jolloin Suomi olisi hyvin lähellä Itämeren suojelun toimintaohjelman tavoitteiden toteuttamista. Saaristomeren kuormitus laskisi runsaat 40 tonnia.

Jos maatalous toteuttaa 20 prosentin vähennyksen fosforinkuormaan ja 30 prosentin vähennyksen typpeäkuormaan, niin maatalouden kokonaiskustannus vesiensuojelusta nouse noin 140 miljoonaan euroon. Tämä on vajaat puolet vuosittain maksettavasta ympäristötuesta. Toisaalta jo nykyinen lähtötila sisältää suojelua ja tuesta kuluu nykyään arvioilta noin puolet vesiensuojelumenojen kattamiseen. Vähennystavoite 20 prosenttia fosforia ja 30 prosenttia typpeä merkitsisi koko ympäristötuen kulumista suojelumenoihin, jolloin ympäristötukeen aikanaan rakennettu tulotukikomponentti katoaisi ja todennäköisesti osallistumisaktiivisuus maatalouden vapaaehtoiseen ympäristöohjelmaan laskisi.

Edellä esitettyyn on syytä tehdä kaksi varausta. On edelleen muistettava, että liukoisen fosforin huuhtoumaa voidaan vähentää edullisesti pidemmällä aikavälillä, kunhan noudatetaan johdonmukaista fosforipolitiikkaa. Pitkällä aikavälillä fosforikuorman vähentäminen maataloudessa on halvempaa kuin edellä esitetty luvut osoittavat. Toiseksi, pitkällä aikavälillä ja ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvän sadannan ja tulvien vuoksi on tarpeen tiukentaa ravinnepolitiikkaa entisestään. Tämä perustelee lisäkeinojen pohdinnan tarpeellisuutta sekä maataloudessa että kaikissa pistekuormittajissa, mukaan lukien teolliset pistekuormittajat.

⁷ Maatalouden pinta-ala Suomenlahden valuma-alueella on noin 25% koko maan viljelyalasta ja rannikonläheisten Uudenmaan ja Kaakkois-Suomen viljelyala on runsaat 10% koko maan pinta-alasta.

5 Kohti kustannustehokasta vesiensuojelupolitiikkaa

Harjoitetun vesipolitiikan analyysi ja kustannustehokkuustarkastelu johtavat kahteen suositukseen. Yhdyskuntajätevesien typenpoisto tulisi nostaa fosforin puhdistuksen tapaan direktiivin vaatimuksia korkeammaksi suurilla puhdistamoilla. Maatalouden vapaaehtoisen ympäristöohjelman ilmeiset puutteet tulee korjata ja ohjausta tulee terävöittää ravinnevähennysten aikaansaamiseksi. Tarkastelemme seuraavaksi lähemmin, kuinka Suomen vesipolitiikkaa voitaisiin tehostaa.

5.1

Yhdyskuntajätevedet

Yhdyskuntajätevesiin kohdistettua typpipolitiikkaa on tehostettu merkittävästi ja näillä toimin yhdyskuntien typpikuorma laskee selvästi. Fosforikuorman vähentämisen potentiaali on pieni eikä puhdistuksen lisätehostamisella ole saatavissa merkittäviä etuja. Koska typen puhdistaminen on osoittautunut suhteellisen halvaksi, niin suhteutettuna maataloudelle asetettuihin vähennysvaatimuksiin, kustannustehokkuustarkastelun valossa typenpoistoa voisi tehostaa suurissa puhdistamoissa kohti 90 prosentin tasoa. Parhaat kotimaiset laitokset yltyvät vapaaehtoisesti jo nyt noin 90 prosentin puhdistukseen. Esimerkiksi Tanskan ja Saksan puhdistamojen typen poiston keskiarvo on 90 prosenttia, eli sama kuin Suomen parhailla puhdistamoilla. Tehostettu typenpoisto ei edellytä budjettirahoitusta ja kustannuksilla on laaja maksajapohja. Tarvitaan ainoastaan poliittista tahtoa määrittää, direktiiviä tiukempi, noin 90 prosentin tavoitetaso puhdistukselle yli 10000 avl:n puhdistamoissa.

Puhdistamojen ohjauksen tehostamiseen on käytännössä kaksi vaihtoehtoa: joko jatketaan nykyistä, laitospohjaista lupiin perustuvaa käytäntöä, tai siirrytään verotamaan vesiin päästettävien ravinteiden määrää. Lupaohjauksen varjopuolena on epäsensitiivisyys laitosten kustannuksille ja tietty hallinnollinen jäykkyys, mutta sen etuna on varmuus vesiin tulevasta kuormasta. Veron etuna olisi kustannustehokkuus ja kustannusten oikeudenmukaisempi jakautuminen laitosten kesken sekä kannustin lisäpuhdistuksiin ja viemäriverkkoa kehittäviin investointeihin (Hautakangas and Ollikainen 2012). Veron haasteena on kustannusten nousu ja siirtymävaiheen epävarmuus oikeasta veron tasosta (ja sitä kautta ravinnemääristä).

Nykyjärjestelmä tarjoaa puhdistamoille joustoa erityisesti siirtoviemäreiden ja pumppaamojen kapasiteettiongelmien ohijuoksutusten muodossa. Niihin kohdistuu kuitenkin kansalaisten lisääntyvää kritiikkiä. Sään ääri-ilmiöiden voimistuessa tarvitaan myös tehostettua ohjausta viemäriverkostoinvestointeihin. Ohijuoksutuslupia koskevaa käytäntöä voidaan tiukentaa. Esimerkiksi nykyistä lupajärjestelmää voitaisiin täydentää verolla: ohijuoksutuksiin kohdistettaisiin suhteellisen korkea vero. Tämän kannustaisi osaltaan investoimaan viemäriverkostojen parantamiseen.

Maatalous

Kustannusten tarkastelu osoitti, että maataloudesta voidaan vähentää sekä typpi- että fosforikuormaa 10 prosenttia varsin edullisesti ja typen puhdistus on perusteltua nostaa aina 30 prosenttiin. Fosforin vähennystason nostaminen 20 prosenttiin, vaikka onkin kustannusmielessä perusteltua, alkaa jo koetella vapaaehtoisuuteen perustuvan järjestelmän rahoitus pohjaa ja kattavuutta, koska ympäristötuki kattaisi juuri ja juuri nämä kustannukset. Ympäristötukeen ei jäisi enää tulotukikomponenttia ja ohjelmaan osallistuvien määrä vähenisi.

Edullisimmat toimet vähentää typpikuormaa on laskea typpilannoitustasoja, kasvattaa suojakaistojen leveyttä sekä kohdistaa peltoja pitkäaikaiseen viherkesannointiin, mikä samalla tukee Suomen ilmastopoliittisia tavoitteita. Kaksi jälkimmäistä ovat keskeisimmät keinot myös eroosion ja partikkelifosforihuuhtouman laskemiseen. Koska nurmilta huuhtoutuu ravinteita vähemmän kuin viljapelloilta, karjatalouden supistaminen ei astu kuvaan alhaisemmilla puhdistustasoilla, mikä on toisin kuin yleensä luultu.

Maatalouden vapaaehtoiseen osallistumiseen perustuvan ympäristöohjelman haasteena on löytää ohjaus, joka toteuttaa yllä esitetyn kaltaiset edullisimmat ratkaisut vähentää ravinnekuormitusta. Poliitiikan luonne riippuu osin siitä harjoitetaanko sitä edelleen vain valtakunnallisena vai lisätäänkö siihen alueellisia tavoitteita ja piirteitä. Vesiensuojelun näkökulmasta katsoen vaikuttaa perustellulta lisätä alueellista erityisohjausta osaksi valtakunnallista politiikkaa.

Valtakunnallinen optimaalinen politiikka voisi koostua tuista ja veroista: typpilannoitukselle tulee asettaa ravinnehuuhtouman rajahaitan suuruinen vero, suojakaistojen perustamiselle ja viherkesannoinnille tulee maksaa rajahaitan vähennyksen mukaista tukea. Poliitiikka koostuu siis kepeistä ja porkkanasta. Nykyisten lannoiterajojen korvaaminen ravinneverolla sisältää eräitä etuja. Vero ottaa paremmin huomioon lohkojen ja tilojen tuottavuuserot kuin nykyiset lannoitusrajat. Vero on hallinnollisesti helppo. Samalla se sisäistää lannoitteiden käyttöön sisältyvän ravinnehaitan ja antaa niistä kustannussignaalin kaikille viljelijöille, ei vain ympäristöohjelmaan osallistuville tiloille. Ravinneverolla on vielä eräs tärkeä lisäetu, josta keskustellaan myöhemmin: se edistää lannan levitystä laajemmalle pinta-alalle ja voi näin toimia osana lantapolitiikkaa.

Ympäristöpolitiikkaa tulee myös tukea eräillä lisätoimilla. Keskeisin näistä on peltonraivauksen lopettaminen joko raivauskiellon tai raivausveron avulla. Vero tulisi asettaa vastaamaan raivauksesta aiheutuvaa ravinne päästö- ja ilmastohaittaa. Tämä on viime kädessä ainoa keino pysäyttää typen kokonaiskuormituksen kasvu. Peltojen viljavuusfosforin mittaamiseen ja seurantaan tulee kiinnittää nykyistä enemmän huomiota. Mittaaminen tulee siirtää viranomaisen tehtäväksi ja se tulee toteuttaa vuosittain edustavana otoksena ja useampana näytteenä kultakin peltolohkolta. Vain näin saadaan luotettava perusta liukoisen fosforin vähentämiselle ja luodaan tilastollisesti luotettava lähtökohta karjatalouden ohjauksen hienosäätöön. Peltolohkoilla, joiden fosforitila on korkea, tulee jatkaa fosforilannoituksen rajoittamista.

Näiden valtakunnallisten toimien rinnalle tarvitaan aluekohtaisesti, esimerkiksi Saaristomerren valuma-alueelle, kohdennettavia ohjauskeinoja, kuten ympäristölaatuindeksiin perustuva tarjouskilpailu. Nurmijärvellä vuonna 2010 toteutettu fosforipilotti tarjouskilpailusta oli lupaava: indeksi kohdisti toimet kustannustehokkaasti huuhtoumaherkille lohkoille ja pienellä rahalla saatiin ohjelman piiriin suuri

pinta-ala. Pilotin johtopäätöksenä tarjouskilpailun arvioitiin soveltuvan erittäin hyvin täydentämään ympäristötukijärjestelmää juuri erityistukien osalta (Iho ym. 2011).

Karjatilojen ohjauksen kulmakivi on ollut lannan hehtaarikohtaisen levityksen rajoittaminen lannan fosforisisällön mukaan. Sallittu lantafosforin määrä hehtaaria kohden on mukaillut viljajaloille johdettuja fosforirajoja. Tiukkojen fosforirajoitusten vuoksi peltopinta-alaa on raivattu lannanlevityksen tarpeisiin lähinnä turvemaille, mikä itse asiassa kasvattaa alkuvuosina huuhtoumia enemmän kuin hieman korkeamman lannoitustason salliminen olemassa oleville pelloille ja toimii lisäksi vastoin Suomen ilmastopoliittisia tavoitteita. Harjoitettu lantapolitiikka ei ole ollut hyvin perusteltua, koska se ei ole ottanut huomioon karjatalouden erityisluonnetta. Karjatalouden ympäristöpolitiikka tulee uudistaa kokonaan syvällisemmän tutkimuksen pohjalta. Esittelemme seuraavassa eräitä alustavia ajatuksia politiikan kehittämissuunnista.

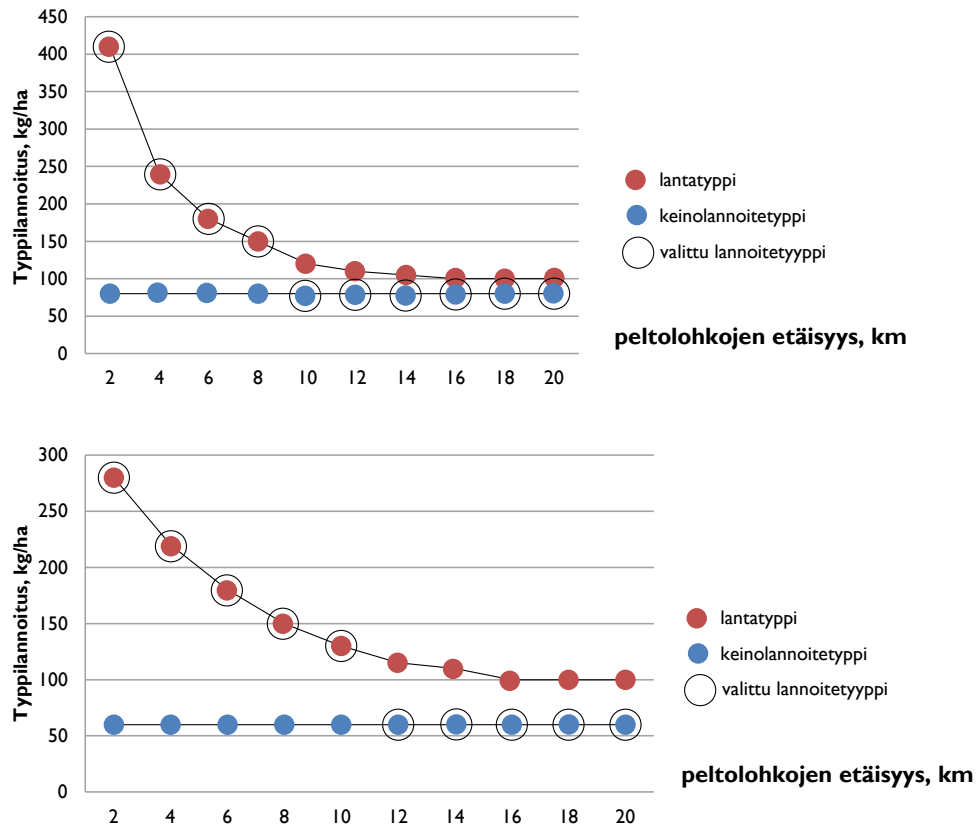
5.3

Karjatalouden erityisongelma

Maatalouden fosforikuormituksen alueelliseen vaihteluun ja esimerkiksi Saaristomereen tulevan fosforikuorman kasvuun esitetään usein seuraava syy. Karjatalous ja kasvituotanto ovat eriytyneet ja keskittyneet alueellisesti, mikä on johtanut ravinnekiertojen epätasapainoon: kasvintuotantotiloille tuodaan keinolannoitteita ja karjantuotantoalueilla puolestaan on ylijäämälantaa (joka mahdollisesti joudutaan käyttämään ylilannoituksena niukoille peltopinta-aloille). Ajatus vaikuttaa loogiselta, mutta karjatilain toiminnan analyysi osoittaa, että näin ei välttämättä ole. Korkea lannoitustaso ja kohonnut maan viljavuusfosforin luvut eivät johdu alueellisesta keskittymisestä, vaan karjatilalle ominaisesta toimintalogiikasta, jota ei tähän saakka ole ymmärretty.

Karjatalous on toimintaa, jossa viljelijä optimoi yhtäaikaaisesti karjan lukumäärää ja dieettiä, peltomaan kohdentamista viljelykasveille sekä lannan levitystä ja keinolannoituksen käyttöä tilan peltolohkoilla (yksityiskohtainen analyysi on esitetty julkaisussa Temmes and Ollikainen 2012). Kaikki valinnat riippuvat toisistaan. Karjatilalle lanta on ilmainen lannoite, siksi sitä kannattaa aina käyttää enemmän kuin keinolannoitetta. Lannan levittämiskustannus kuitenkin kasvaa, kun loitotaan tilakeskuksesta, jolloin myös optimaalinen lannoitustaso laskee. Jollakin etäisyydellä lannan hinta on noussut yhtä suureksi kuin vakiohintainen keinolannoite. Tätä etäisyyttä ulommilla peltolohkoilla viljelijä siirtyy käyttämään keinolannoitetta, jota levitetään kaikilla etäisyyksillä sama määrä (olettaen, että peltolohkot ovat samanlaatuiset ja viljelykasvi säilyy samana).

Entä jos yhteiskunta järjestää karjatilain tuotannon ja ottaa huomioon huuhtoumahaitan? Tällainen taloudellisesti perusteltu ja ravinteiden suhteen kestävä (eli yhteiskunnallisesti optimaalinen) lannoitus noudattaa samanlaista etäisyyteen perustuvaa lannoituslogiikkaa. Myös yhteiskunta käyttää korkeampia lannoitustasoja lähellä tilakeskusta ja ylläpitää korkeampaa maan viljavuusfosforin tasoa. Optimaalinen lannoitusintensiteetti laskee siirryttäessä etäisemmille pelloille ja yhtäläisesti – joskin kauempaa – löytyy se kriittinen etäisyys, jossa siirrytään käyttämään keinolannoitetta. Kuvassa 14 havainnollistetaan optimaalista yksityistä ja yhteiskunnallista lannoitusratkaisua karjatilalle, jossa lypsylehmien lukumäärä on 40 ja peltopinta-alaa on 30 ha. Havainnollisuuden vuoksi tilan lohkot sijaitsevat etäällä toisistaan ja kauimmaisina 10 kilometrin päässä tilakeskuksesta.



Kuva 14. Ohran optimaalinen typpilannoitus lannan levityksen ja keinolannoituksen avulla: yksityinen ja yhteiskunnallinen optimi. Lähde: Temmes ja Ollikainen 2012.

Kuten kuva havainnollistaa, kummassakin optimissa lannoitus laskee etäisyyden funktiona. Yksityisessä optimissa siirrytään keinolannoitteen käyttöön etäisyydellä 10 ja siitä eteenpäin lannoitus on jokseenkin vakio. Yhteiskunta siirtyy keinolannoitteen käyttöön etäisyydellä 12.

Yhteiskunnallisesti optimaalinen lannoitus eroaa kuitenkin yksityisestä kahdessa tärkeässä suhteessa. Yksityisessä optimissa lannan määrä ensimmäisessä lohossa (etäisyys 2) ylittää merkittävästi yhteiskunnallisesti optimaalisen määrän. Lisäksi yhteiskunta levittää lantaa kauemmaksi kuin yksityinen viljelijä (etäisyys 10). Täten yhteiskunta levittää lannan tasaisemmin, mutta etäisyyden suhteen samalla logiikalla kuin viljelijä. Tasaisempi levitys laskee ravinnehuuhtoumaa.

Vaikka yllä esitelty tulos on johdettu typelle, se pätee yhtäläisesti fosforiin: lantafosfori on ilmaista, mutta sen levittäminen kallistuu asteittain loitottaessa tilakeskuksesta. Tästä seuraa myös, että karjatiloiilla yhteiskunnallisesti optimaalinen viljavuusfosforin taso vaihtelee lohkoittain ja laskee loitottaessa tilakeskuksesta. Lähipeltolohkojen keinolannoitelevitystä korkeammat lannoitustasot ja fosforiluvut ovat siis perusteltuja myös yhteiskunnan kannalta. Millaisella tasolla yhteiskunnallisesti optimaaliset fosforiluvut sitten voisivat sitten tarkkaan ottaen olla, jää myöhemmän tutkimuksen teemaksi.

Karjatiljan ohjaamisen kannalta keskeisiä kysymykset ovat: Mikä on karjatiljan peltolohkojen optimaalinen pitkän aikavälin viljavuusfosforin taso etäisyyden funktiona? Kuinka lannan levitystä voidaan tasoittaa lohkoittain kohti yhteiskunnallista optimia? Mitkä ovat keinot ulottaa lannan levitystä laajemmalle pinta-alalle?

On selvää, että kaikille lohkoille asetettu yhtäläinen lantarajoite ei toteuta yhteiskunnallista optimia. Se voidaan tuottaa asettamalla lohkokohtaisesti lannan levitysrajat, mutta tällaisia rajoja on vaikea hallinnoida. Lannanlevitystukikaa ei mallilaskelmien valossa toimi erityisen hyvin: se ei muuta lannoituksen etäisyyspohjaista intensiteettieroja yksityisen ja yhteiskunnallisen optimin välillä. Sitä paitsi tuen pitää olla varsin korkea toimiakseen (lantahan on ilmainen lannoite, josta ei karjatiljan kannata ehdoitta luopua). Toimivan ohjauskeinojärjestelmän määrittäminen jää myöhemmän tutkimuksen teemaksi, mutta edellä on jo esitetty kolme ajatusta, jotka voivat muodostavat osan karjatalouteen sopeutettua vesiensuojelupolitiikkaa.

Ravinneveron asettaminen keinolannoitetyypelle edistää automaattisesti lannan tasaisempaa levitystä, koska se nostaa keinolannoitteen hintaa suhteessa lantaan, jolloin lantaa kannattaa levittää etäämmälle. Samalla se tasoittaa eri etäisyyksille valittavaa lannoiteintensiteettiä ja siirtää yksityistä ratkaisua kohti yhteiskunnallista optimia. Tämä vähentää tarvetta pellonraivaamiseen, jonka kieltoa tosin tulee harkita jo muutenkin. Maan viljavuusfosforin viranomaismittaukset ovat tarpeen luomaan nykyistä systemaattisemman pohjan karjatalouteen soveltuvien lannoitusmäärien tarkasteluun ja laajemminkin liukoisen fosforin huuhtouman vähentämisen tehostamiseen. Tutkittavaksi tulisi ottaa myös karjataloutta tukeva järjestelmä ja sen rahoitus, joka helpottaisi karjatiljojen tilarakenteen tiivistämistä peltojen oston ja vaihdon avulla. Lannan separointiin liittyvä tutkimus ja separoinnin kustannusten laskeminen on eräs tärkeä tuleva teema.

6 Suosituksia ohjauksen tehostamiseksi

Tämän esityksen ja sen taustana käytettyjen tutkimusten ja kustannustehokkuusanalyysin nojalla voidaan tehdä seuraavat pääsuositukset. Maatalouden ympäristöohjelman ilmeiset puutteet tulee korjata ja maatalouden ympäristöpolitiikkaa tulee terävöittää kaikissa suhteissa. Samalla on suositeltavaa nostaa yhdyskuntajätevesien typenpoistotavoite fosforin tapaan korkeammaksi kuin EU:n yhdyskuntajätevesidirektiivi edellyttää. Puhdistamojen osalta tavoitteiden ja politiikan hahmottaminen on suoraviivaista, maatalouden politiikan tehostaminen monimutkaista, mutta käytettävissä on useita tehostamiskeinoja.

Typen puhdistuspotentiaali, puhdistuskustannukset ja kustannustehokkuusanalyysi tukevat nykyistä kunnianhimoisempaa typpipolitiikkaa puhdistamoissa. Typenpoiston nostaminen kohti 90 % vähennystasoa yli 10 000 asukasvastineluvun laitoksissa toteuttaa moninkertaisesti Itämeren suojelun toimintaohjelman tavoitteet ja luo hyvät edellytykset typpirajoitteisen Saaristomeren tilan parantamiseen ja olisi samalla hyvää varautumista ilmastonmuutokseen. Yhteiskunnan ohjaus voi perustua joko nykyiseen lupaperusteiseen ohjaukseen tai ravinneveron käyttöön ottamiseen. Verotusta voidaan kohdistaa erityiskeinona lupajärjestelmän rinnalle jätevesien ohijuoksutuksiin. Vero lisäisi kannustimia viemäri-investointeihin ja signaloisi hyvin kansalaisten ohijuoksutuksiin kohdistamaa kritiikkiä. Typenpoiston rahoituspohja on laaja eikä siihen tarvita budjettirahaa.

Maatalouden vapaaehtoisuuteen perustuvaa ympäristöohjelmaa voidaan uudistaa ja terävöittää tehostamalla valtakunnallista ohjausta ja lisäämällä siihen alueellisia aineksia. Ravinnekuormitushaittaan perustuva typpivero on nykyisiä löysiä typpirajoitteita tehokkaampi ja oikeudenmukaisempi ohjauskeino, joka samalla edistää lannan tasaisempaa levitystä karjatiloilta. Laajemmat suojakaistat ja viherkesannointipinta-alan kasvattaminen ovat edullisimpia ja tuettavia keinoja, joiden perustamista (sijoittelua, muotoa ja kokoa) tulisi joustavoittaa. Pellonraivauksen lopettaminen tai verottaminen syntyvän haitan mukaan edistää typen kokonaishuuhtouman kasvun pysäyttämistä ja maan viljavuusfosforin systemaattisiin otoksiin perustuva viranomaisseuranta on tarpeen tukemaan fosforipolitiikkaa ja karjatilojen ominaispiirteiden huomioonottamista. Alueelliset erityistarpeet, kuten ravinnehuuhtouman tehostettu vähentäminen Saaristomeren valuma-alueella, voidaan ottaa huomioon ympäristöindeksiin perustuvilla tarjouskilpailuilla. Karjatalouden ohjaaminen sen omilla ehdoilla tulee ottaa intensiivisen tutkimuksen kohteeksi.

Suomen maataloudessa on maatalouden ympäristöohjelman muodossa harjoitettu pian 20 vuotta määrätietoisempaa vesiensuojelua kuin missään muualla maailmassa. Tutkimusta ja tietopohjaa politiikan perustaksi varten on kuitenkin valitettavan vähän. Tämä koskee niin pistekuormitusta kuin hajakuormittajiakin. Teollisista pistekuormittajista tiedetään vähän. Puhdistamojen kustannuksista tämän julkaisun kirjoittajat ovat tuottaneen ensimmäisen systemaattisen ja reaaliaineistoon perustuvan arvion. Hajakuormituksen suhteen puutteita tietämyksessä on aina huuhtoumatutkimuksesta lähtien. Vesiensuojelupolitiikan legitimitetin kannalta ikävää on, että maatalouden kuormituksen määrästä ei ole sidosryhmien välistä yksimielisyyttä, eikä sitä aktiivisesti tuoteta. Fosforin rajoittamisen kannalta keskeinen tieto maanviljavuusfosforista on epämääräinen eikä karjatalouden ohjaamisesta ole ollut tutkimusta. Näiden puutteiden korjaamisessa keskeinen rooli on ohjaavilla ministeriöillä, alan tutkimusta rahoittavilla tahoilla sekä tutkimuslaitoksilla.

LÄHTEET

- Hautakangas S. and M. Ollikainen 2011. Making the Baltic Sea Action Plan workable: a nutrient trading scheme. In (eds. Tynkkynen N. and M. Pihlajamäki: Societal challenges of marine eutrophication prevention. *Finnish Institute of International Affairs, FIIA Report 31*.
- Hautakangas, S., M. Ollikainen, K. Aarnos and P. Rantanen 2012. Nutrient abatement potential and abatement costs of urban waste water treatment plants in the Baltic Sea Region. *Unpublished manuscript*.
- Hautakangas, S. M. Ollikainen 2012. The impacts of alternative nutrient tax policies on the behavior of water companies. *Manuscript in preparation*.
- Iho A., J. Lankoski, M. Ollikainen, M. Puustinen, K. Aroviiri, J. Heliölä, M. Kuussaari, A. Oksanen ja S. Väisänen 2011. Tarjouskilpailu maatalouden vesiensuojeluun ja luonnonhoitoon: järjestelmän kehittäminen ja pilotointi. Tarve-hankkeen loppuraportti. *MTT Raportteja 33*.
- Lankoski J. and M. Ollikainen 2011. Counterfactual approach to assessing agri-environmental policy: The case of the Finnish water protection policy. *Submitted manuscript*. *University of Helsinki, Department of Economics and Management, Discussion Papers, No 56*.
- Lankoski J. and M. Ollikainen 2012. Nitrogen and phosphorus runoff abatement costs in the Baltic Sea agriculture. *Manuscript in preparation*.
- Puustinen M, E. Turtola, M. Kukkonen, J. Koskiahho, J. Linjama, R. Niinioja, S. Tattari 2010. VIHMA – a tool for allocation of measures to control erosion and nutrient loading from Finnish agricultural catchments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 138, 306-317.
- Suomela J. ja A. Sydänoja 2006. Saaristomeren tila – Skärgårdshavets tillstånd. Katsaus. *Lounais-suomen ympäristökeskus*.
- Temmes, E. and M. Ollikainen 2012. Spatial model of dairy farm management and nutrient runoff: Private and social optima *Submitted manuscript*
- Varsinais-Suomen elinkeino- liikenne ja ympäristökeskus 2011. Pro Saaristomeri: Itä- ja Saaristomeren erityispiirteet. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=12477&lan=fi>.
- Wilander, S. J. Lankoski ja M. Ollikainen 2012. Maatalouden vesiensuojelupolitiikan analyysi: tapauksena Saaristomeren valuma-alue. *Käsikirjoitus*.

Liite

Liitetaulukko A1. Ihmisen aiheuttama ravinnekuormitus vesistöihin vuonna 2008 päästölähteittäin.

	Fosfori (t)	Typpi (t)	Fosfori (%)	Typpi (%)
Teollisuus	191	3 204	4,7	4,3
Yhdyskunnat	196	11 118	4,8	15,0
Kalankasvatus	84	688	2,1	1,0
Turkistarhat	45	430	1,1	0,6
Turvetuotanto	28	724	0,1	1,0
Pistekuormitus, yhteensä	544	16 164	13,3	21,9
Maatalous	2 750	39 500	67,0	53,4
Haja-asutus	355	2 500	8,5	3,4
Metsätalous	231	3 253	5,6	4,4
Hajakuormitus yhteensä	3 336	45 253	81,3	61,2
Laskeuma	225	12 500	5,4	16,9
Yhteensä	4 105	73 917	100	100

Lähde: Suomen ympäristökeskus (SYKE)

Liitetaulukko A2. Helcomin suositukset happea kuluttavan kuormituksen, fosforin ja typen puhdistamiseen yhdyskuntajätevesilaitoksissa.

	BOD5		kokonaisfosfori		kokonaistyppe	
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
alle 2000	25	80	2,0	70	35	30
2000 – 10 000	15	80	1,0	80		30
10 000 – 100 000	15	80	0,5	90	15	70-80
yli 100 000	15	80	0,5	90	10	70-80

Liitetaulukko A3. Peltomaan määrä ja jakauma kasvien kesken Suomessa vuosina 1995, 2001, 2007

Maankäyttö	1995	2001	2007
Vehnä	88 100	115 400	167 900
Ohra	516 200	547 200	550 100
Kaura	329 300	422 700	361 500
Rypsi	85 300	73 100	90 200
Heinä	287 100	157 500	103 100
Tuorerehu	300 900	380 900	438 100
Kesanto	223 200	201 900	231 600
Muut	316 300	293 200	312 800
Yhteensä	2 146 400	2 191 900	2 255 300

Liitetaulukko A4. Typen, sekä liukoisen (DRP) ja partikkelifosforin (PP) arvioitu huuhtouma, kg/ha, ympäristötukiohjelman mukaisilla lannoiterajoilla vuosina 1995, 2001, and 2007.

Kasvi	1995			2001			2007		
	N	DRP	PP	N	DRP	PP	N	DRP	PP
Vehnä	14.0	0.451	0.586	14.2	0.418	0.565	14.9	0.381	0.540
Ohra	13.1	0.451	0.586	13.2	0.421	0.568	13.1	0.392	0.548
Kaura	13.1	0.451	0.586	13.2	0.412	0.562	13.1	0.372	0.534
Rypsi	14.0	0.427	0.571	14.1	0.417	0.565	13.9	0.383	0.542
Heinä	5.7	0.752	0.279	6.3	0.694	0.270	7.1	0.599	0.251
Tuore-rehu	4.5	0.676	0.266	4.5	0.619	0.255	4.7	0.570	0.245
Kesanto	10.6	0.390	0.490	10.6	0.372	0.467	8.8	0.380	0.409
Muut	9.8	0.639	0.364	10.4	0.598	0.364	10.5	0.558	0.338

Liitetaulukko A5. Saaristomeren keskimääräinen ravinnekuormitus vuosina 2005–2009 ilman ilmalaskeumaa

	FOSFORI		TYPPI	
	prosenttia	tn/vuosi	prosenttia	tn/vuosi
Maatalous	72,8	339	58,7	3 404
Luonnonhuuhtouma	10,2	48	20,6	1 196
Haja-asutus	8,0	37	3,2	184
Yhdyskuntajätevedet	4,5	21	12,7	736
Kalankasvatus	3,4	16	3,2	184
Metsätalous	1,1	5	1,6	92
YHTEENSÄ	100	466	100	5 796

Muokattu lähteestä: Varsinais-Suomen ELY-keskus 2011

KUVAILULEHTI

Julkaisija	Ympäristöministeriö Luontoympäristöosasto			Julkaisu-aika Marraskuu 2012
Tekijä(t)	Kari Hyytiäinen ja Markku Ollikainen (toim.)			
Julkaisun nimi	Taloudellinen näkökulma Itämeren suojeluun			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Ympäristöministeriön raportteja 22/2012			
Julkaisun teema				
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut				
Tiivistelmä	<p>Valtioneuvoston sektoritutkimuksen neuvottelukunnan kestävä kehitys -jaosto käynnisti vuonna 2009 kaksi hanketta, joista ”Itämeren suojelun kustannusten, hyötyjen ja ohjauskeinojen arviointi” -hanketta koordinoi Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT), ja siihen osallistuivat Suomen ympäristökeskus (SYKE) ja Helsingin yliopisto (HY). Toista hanketta ”Kustannustehokkaat ohjauskeinot Itämeren suojelussa” koordinoi Helsingin yliopiston taloustieteen laitos ja siihen osallistui myös Valtion taloudellinen tutkimuslaitos. Hankkeiden rahoituksesta vastasivat maa- ja metsätalousministeriö ja ympäristöministeriön sekä liikenne- ja viestintäministeriö ja valtiovarainministeriö pienellä osuudella. Maa- ja metsätalousministeriö asetti hankkeille yhteisen laajapohjaisen ohjausryhmän.</p> <p>Itämereen kohdistuu monia ihmisen toiminnasta aiheutuvia paineita, jotka heikentävät meren tilaa ja lisäävät ympäristövahinkojen riskiä. Monet Itämeren altaat ovat huonossa tilassa. Itämeren rantavaltiot suojelevat Itämerta muun muassa EU:n lainsäädännön ja HELCOM:n Itämeren toimintaohjelman ohjaamina.</p> <p>Suojelutoimien taloudellista kannattavuutta voidaan arvioida vertaamalla toimenpiteiden kustannuksia niistä saataviin hyötyihin. Kansallisen suojelupolitiikan tehokkuutta voidaan puolestaan arvioida tutkimalla kustannusten ohella sitä, millä perustein vähennysvelvoitteet on kohdistettu eri kuormittajien kesken ja miten vaikuttavia ohjauskeinoja kuorituksen vähentämiseksi käytetään.</p> <p>Hankkeissa laadittiin taloudellisia analyysejä kolmelle Itämeren keskeiselle uhalle: rehevöitymiselle, laivaliikenteen öljyvahingoille ja vieraslajeille. Tässä raportissa esitellään hankkeiden keskeisimmät tulokset sekä tutkijoiden suosituksia Suomen vesien suojelun kehittämiseksi.</p>			
Asiasanat	Itämeri, meriensuojelu, kustannustehokkuus, kustannus-hyötyanalyysi, arvottaminen, maksuhalukkuus, rehevöityminen, öljyntorjunta, vieraslajit, virkistyskäyttö, ohjauskeinot, ravinnekuormitus, tyyppi, fosfori, optimointi, indikaattorit, ekologiset mallit, asiantuntija-arviot, Bayes-päätely, maatalous, ravinnevero, yhdyskuntajätevedet, lantapolitiikka, karjatalous, puhdistuskustannukset, maan viljavuusfosfori, Suomen maatalouden ympäristöohjelma, Itämeren suojelun toimintaohjelma			
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Ympäristöministeriö			
	ISBN 978-952-11-4094-5 (nid.)	ISBN 978-952-11-4096-9 (PDF)	ISSN 1796-1696 (pain.)	ISSN 1796-170X (verkkoi.)
	Sivuja 134	Kieli suomi	Luottamuksellisuus julkinen	
Julkaisun myynti/ jakaja	www.ymparisto.fi			
Julkaisun kustantaja				
Painopaikka ja -aika	Helsinki 2012			

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Miljöministeriet Naturmiljöavdelning	Datum November 2012		
Författare	Kari Hyytiäinen och Markku Ollikainen (red.)			
Publikationens titel	Taloudellinen näkökulma Itämeren suojeluun (Ett ekonomiskt perspektiv på skyddet av Östersjön)			
Publikationsserie och nummer	Miljöministeriets rapporter 22/2012			
Publikationens tema				
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt				
Sammandrag	<p>Sektionen för hållbar utveckling inom statsrådets delegation för sektorsforskning inledde år 2009 två projekt. Projektet för bedömning av kostnader, fördelar och styrmedel inom Östersjöskyddet (<i>Itämeren suojelun kustannusten, hyötyjen ja ohjauskeinojen arviointi</i>) samordnades av Forskningscentralen för jordbruk och livsmedelsekonomi (MTT), och i projektet deltog även Finlands miljöcentral (SYKE) och Helsingfors universitet (HU). Det andra projektet, som gällde kostnadseffektiva styrmedel inom Östersjöskyddet (<i>Kustannustehokkaat ohjauskeinot Itämeren suojelussa</i>), samordnades av Institutionen för ekonomi vid Helsingfors universitet, och i projektet deltog även Statens ekonomiska forskningscentral. Projekten finansierades av jord- och skogsbruksministeriet och miljöministeriet, och med en liten andel från kommunikationsministeriet och finansministeriet. Jord- och skogsbruksministeriet tillsatte en gemensam bredbasig styrgrupp för projekten.</p> <p>Östersjön är föremål för betydande belastning på grund av mänsklig aktivitet, och belastningen försvagar den marina miljöns tillstånd och ökar risken för miljöskador. Den marina miljöns status är svag i många bassänger i Östersjön. Östersjöstaterna skyddar Östersjön bl.a. med stöd av EU-lagstiftningen och HELCOM:s aktionsplan för Östersjön.</p> <p>Skyddsåtgärdernas ekonomiska lönsamhet kan bedömas genom att man jämför kostnaderna för åtgärderna med den nytta som erhålls. Hur effektiv den nationella skyddspolitikerna är kan å sin sida bedömas genom att man dels ser till kostnaderna, men dels också undersöker på vilka grunder förpliktelserna när det gäller att minska belastningen har riktats mellan olika föreningar och hur verkningfulla styrmedel man använder för att åstadkomma en minskning.</p> <p>Inom projekten utfördes ekonomiska analyser av tre centrala hot mot Östersjön: eutrofieringen, oljeskador i fartygstrafiken samt främmande arter. I den här rapporten presenteras de viktigaste resultaten av projekten samt forskarnas rekommendationer med tanke på utvecklingen av vattenskyddet i Finland.</p>			
Nyckelord	Östersjön, havsskydd, kostnadseffektivitet, kostnads-nyttoanalys, värdesättning, betalningsvilja, eutrofiering, oljebekämpning, främmande arter, användning för rekreatiönsändamål, styrmedel, närsaltsbelastning, kväve, fosfor, optimering, indikatorer, ekologiska modeller, sakunig utlåtande, Bayesiansk inferens, jordbruket, skatt på näringsämne, avloppsvatten från samhällen, stäljedsen politik, boskapsskötsel, reningskostnader, markens fosforhalt, Landbrukets miljöprogram i Finland, aktionsplanen för Östersjön			
Finansiär/ uppdragsgivare	Miljöministeriet			
	ISBN 978-952-11-4094-5 (hft.)	ISBN 978-952-11-4096-9 (PDF)	ISSN 1796-1696 (print)	ISSN 1796-170X (online)
	Sidantal 134	Språk Finska	Offentlighet Offentlig	
Beställningar/ distribution	www.miljo.fi			
Förläggare				
Tryckeri/tryckningsort och -år	Helsingfors 2012			

DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Ministry of the Environment Department of the Natural Environment			<i>Date</i> November 2012
<i>Author(s)</i>	Kari Hyytiäinen and Markku Ollikainen (ed.)			
<i>Title of publication</i>	Taloudellinen näkökulma Itämeren suojeluun (Economic Aspects of Baltic Sea Protection)			
<i>Publication series and number</i>	Reports of the Ministry of the Environment 22/2012			
<i>Theme of publication</i>				
<i>Parts of publication/ other project publications</i>				
<i>Abstract</i>	<p>The Sustainable Development Subcommittee of the Government Advisory Board for Sectoral Research decided in 2009 to initiate two projects. The first one "Protection of the Baltic Sea: Benefits, Costs and Policy Instruments" was conducted by a consortium led by MTT Agrifood Research Finland, together with the Finnish Environment Institute (SYKE) and the University of Helsinki. The other project "Cost-efficient instruments for the protection of the Baltic Sea" was led by the University of Helsinki, Department of Economics and Management, in cooperation with the Government Institute for Economic Research. The projects were funded by the Ministry of Agriculture and Forestry and the Ministry of the Environment, along with a small contribution from the Ministry of Transport and Communications and Ministry of Finance. A common steering group for both projects was appointed by the Ministry of Agriculture and Forestry.</p> <p>The Baltic Sea and its catchment area are highly susceptible to the environmental impacts of human activities. Several of the sub-basins are in a poor or bad state. To protect the Sea, the coastal countries are implementing EU directives and the HELCOM Baltic Sea Action Plan.</p> <p>The cost-effectiveness of environmental protection can be analysed by comparing the costs of measures to benefits derived from ecosystem goods and services. In turn, the effectiveness of national water protection policies can be assessed by evaluating, in addition to the costs, on what basis the reduction measures are allocated to different sectors and how effective are the abatement measures that are used.</p> <p>As part of the projects, cost-benefit analyses were made for the three main threats to the Baltic Sea: eutrophication, oil pollution from maritime traffic and invasive species. The report presents the main results of the studies, as well as some recommendations by the researchers for improving water protection measures in Finland.</p>			
<i>Keywords</i>	the Baltic Sea, marine protection, cost-effectiveness, cost-benefit analysis, valuation, willingness to pay, eutrophication, oil spill combating, invasive species, recreation, policy instruments, nutrient load, nitrogen, phosphorus, optimization, indicators, ecological models, expert judgment, Bayesian inference, agriculture, nutrient tax, municipal waste water, manure policy, dairy, abatement costs, soil phosphorus content, Finnish agri-environmental program, Baltic Sea Action Plan			
<i>Financier/ commissioner</i>	Ministry of the Environment			
	ISBN 978-952-11-4094-5 (pbk.)	ISBN 978-952-11-4096-9 (PDF)	ISSN 1796-1696 (print)	ISSN 1796-170X (online)
	No. of pages 134	Language Finnish	Restrictions For public use	
<i>For sale at/ distributor</i>	www.environment.fi			
<i>Financier of publication</i>				
<i>Printing place and year</i>	Helsinki 2012			

Valtioneuvoston sektoritutkimuksen neuvottelukunnan kestävä kehitys-jaosto käynnisti vuonna 2009 kaksi hanketta, joista *”Itämeren suojelun kustannusten, hyötyjen ja ohjauskeinojen arviointi”* – hanketta koordinoi Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT), ja siihen osallistuivat Suomen ympäristökeskus (SYKE) ja Helsingin yliopisto (HY). Toista hanketta *”Kustannustehokkaat ohjauskeinot Itämeren suojelussa”* koordinoi Helsingin yliopiston taloustieteen laitos ja siihen osallistui myös Valtion taloudellinen tutkimuslaitos. Hankkeiden rahoituksesta vastasivat maa- ja metsätalousministeriö ja ympäristöministeriö sekä liikenne- ja viestintäministeriö ja valtiovarainministeriö pienellä osuudella. Maa- ja metsätalousministeriö asetti hankkeille yhteisen laajapohjaisen ohjausryhmän.

Itämereen kohdistuu monia ihmisen toiminnasta aiheutuvia paineita, jotka heikentävät meren tilaa ja lisäävät ympäristövahinkojen riskiä. Monet Itämeren altaat ovat huonossa tilassa. Itämeren rantavaltiot suojelevat Itämeren muun muassa EU:n lainsäädännön ja HELCOM:n Itämeren toimintaohjelman ohjaamina.

Suojelutoimien taloudellista kannattavuutta voidaan arvioida vertaamalla toimenpiteiden kustannuksia niistä saataviin hyötyihin. Kansallisen suojelupolitiikan tehokkuutta voidaan puolestaan arvioida tutkimalla kustannusten ohella sitä, millä perustein vähennysvelvoitteet on kohdistettu eri kuormittajien kesken ja miten vaikuttavia ohjauskeinoja kuormituksen vähentämiseksi käytetään.

Hankkeissa laadittiin taloudellisia analyysejä kolmelle Itämeren keskeiselle uhalle: rehevöitymiselle, laivaliikenteen öljyvahingoille ja vieraslajeille. Tässä raportissa esitellään hankkeiden keskeisimmät tulokset sekä tutkijoiden suosituksia Suomen vesiensuojelun kehittämiseksi.



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

ISBN 978-952-11-4094-5 (nid.)

ISBN 978-952-11-4096-9 (PDF)

ISSN 1796-1696 (pain.)

ISSN 1796-170X (verkkokoj.)